



TESIS - ME185401

**PERANCANGAN SISTEM HIBRID PANEL PV DAN  
TURBIN ANGIN INTERKONEKSI DENGAN *GRID*  
UNTUK MEMENUHI KEBUTUHAN LISTRIK  
PADA BUDIDAYA UDANG VANNAMEI  
DI KECAMATAN BAYAN KABUPATEN LOMBOK UTARA  
NUSA TENGGARA BARAT**

BIRHAM HERMANSYAH  
04211750010011

DOSEN PEMBIMBING  
Ir. Agoes Achmad Masroeri, M.Eng., D.Eng

PROGRAM MAGISTER  
DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019





TESIS - ME185401

**PERANCANGAN SISTEM HIBRID PANEL PV DAN  
TURBIN ANGIN INTERKONEKSI DENGAN *GRID*  
UNTUK MEMENUHI KEBUTUHAN LISTRIK  
PADA BUDIDAYA UDANG VANNAMEI  
DI KECAMATAN BAYAN KABUPATEN LOMBOK UTARA  
NUSA TENGGARA BARAT**

BIRHAM HERMANSYAH  
04211750010011

DOSEN PEMBIMBING  
Ir. Agoes Achmad Masroeri, M.Eng., D.Eng

PROGRAM MAGISTER  
DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019



## LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (M.T)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember


oleh:

Birham Hermansyah  
NRP. 04211750010011

Tanggal Ujian : 17 Januari 2019  
Periode Wisuda : Maret 2019

**Disetujui oleh :**  
**Dosen Pembimbing ;**

1. Ir. Agoes Achmad Masroeri, M.Eng., D.Eng  
NIP. 19580807 198403 1004



**Dosen Penguji ;**

1. Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng., Ph.D  
NIP. 19751006 200212 1 003
2. Dr. Eng. Trika Pitana, S.T., M.Sc  
NIP. 19760129 200112 1 001



Dekan Fakultas Teknologi Kelautan

Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D  
NIP. 19590505 198403 1 012


*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul “**PERANCANGAN SISTEM HIBRID PANEL PV DAN TURBIN ANGIN INTERKONEKSI DENGAN *GRID* UNTUK MEMENUHI KEBUTUHAN LISTRIK PADA BUDIDAYA UDANG VANNAMEI DI KECAMATAN BAYAN KABUPATEN LOMBOK UTARA NUSA TENGGARA BARAT**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Desember 2018



Birham Hermansyah

NRP. 04211750010011

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# **PERANCANGAN SISTEM HIBRID PANEL PV DAN TURBIN ANGIN INTERKONEKSI DENGAN *GRID* UNTUK MEMENUHI KEBUTUHAN LISTRIK PADA BUDIDAYA UDANG VANNAMEI DI KECAMATAN BAYAN KABUPATEN LOMBOK UTARA NUSA TENGGARA BARAT**

Nama mahasiswa : Birham Hermansyah  
NRP : 04211750010011  
Pembimbing : 1. Ir. Agoes Achmad Masroeri., M.Eng., D.Eng

## **ABSTRAK**

Kecamatan bayan di kabupaten Lombok Utara merupakan daerah pengembangan budidaya udang vannamei baik skala besar (tambak) maupun skala kecil (*backyard*). Dengan memanfaatkan energi surya yang berlimpah serta energi angin dapat menjadi sumber energi listrik alternatif bagi usaha budidaya udang vannamei di lokasi yang belum mendapatkan atau tidak mendapatkan pasokan listrik yang stabil yang mengingat udang vannamei membutuhkan aerasi yang rutin selama 24 jam yang tentunya membutuhkan pasokan listrik yang stabil.

Pada penelitian ini telah dilakukan simulasi bagaimana merancang sebuah sistem hibrid yang terdiri dari panel PV dan turbin angin serta dengan interkoneksi dengan jaringan listrik (PLN) dengan *automatic transfer switch* sebagai sebuah sumber energi listrik alternatif pada tambak udang vannamei.

Dari hasil simulasi dan rancangan yang dibuat didapatkan jumlah panel PV yang dibutuhkan adalah berjumlah 333 unit dengan total daya yang dihasilkan 72 KW dan dibantu oleh turbin angin berjumlah 50 unit dengan total daya yang dihasilkan 7,5 KW untuk melayani beban kincir air dengan jumlah 60 unit dan peralatan listrik lainnya dengan total daya 69 KW. Jika menggunakan sistem hibrid, *Payback Periode* akan diperoleh dalam jangka waktu 3,11 tahun dengan NPV sebesar Rp. 30.052.152.697 dengan nilai IRR sebesar 57,3%.

**Kata kunci:** Energi Surya, Energi Angin, Sistem Hibrid, Panel PV, Turbin angin, *Automatic transfer switch*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **DESIGN OF HYBRID SYSTEM PV PANELS AND WIND TURBINES INTERCONNECTION WITH GRID TO MEET ELECTRICAL NEEDS IN VANNAMEI SHRIMP FARM IN BAYAN SUB DISTRICT, NORTH LOMBOK DISTRICT, WEST NUSA TENGGARA**

By : Birham hermansyah  
Student Identity Number : 04211750010011  
Supervisor : Ir. Agoes Achmad Masroeri., M.Eng., D.Eng

## **ABSTRACT**

Bayan sub-district in North Lombok district is an area of development of large-scale (pond) and backyard shrimp farming. By utilizing abundant solar energy and wind energy, it can be an alternative source of electrical energy for vannamei shrimp cultivation in locations that have not yet obtained or have not received a stable electricity supply which remembers vannamei shrimp requiring routine aeration for 24 hours which certainly requires a stable electricity supply .

In this study a simulation has been done on how to design a hybrid system consisting of PV panels and wind turbines and by interconnecting with electricity networks (PLN) with automatic transfer switches as an alternative source of electrical energy in vannamei shrimp ponds.

From the simulation and design results obtained, the number of PV panels needed is 333 units with a total power produced 72 KW and assisted by 50 wind turbines with a total power of 7.5 KW to serve the load of 60 units of waterwheel and other electrical equipment with a total power of 69 KW. If using a hybrid system, Payback Period will be obtained within 3.11 years with an NPV of Rp. 30.052.152,697 with an IRR value of 57.3%.

**Keywords:** Solar Energy, Wind Energy, Hybrid Systems, PV Panels, Wind Turbines, Automatic transfer switches

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur ke hadirat Alloh Subhana Huwata'ala yang telah memberikan karunia dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan Thesis ini. Salawat dan salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad Rasulullah Shalallahu alaihi wasalam. Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) dalam bidang keahlian Teknik Sistem Pengendalian Kelautan pada program studi Paska Sarjana Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya, kepada :

1. Kedua orang tua, Ayahanda almarhum Suherlan dan ibunda Siti Kastini, kedua mertua almarhum Bapak Sarinah dan Ibu Pahari, istri saya Henny Wilya, kedua buah hati Umar dan Uwais, adik-adik (Amon, Restu, Singgih, Yus, Herlin) Paklik Teguh dan Bulik Lilik sekeluarga yang telah banyak direpotkan oleh penulis selama di Surabaya, serta segenap keluarga yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu atas dukungan dan doanya sehingga penulis dapat menyelesaikan studi tepat pada waktunya.
2. Bapak DR. Eng Muhammad Badrus Zaman, ST.,MT., selaku ketua departemen Teknik Sistem Perkapalan.
3. Bapak Ir. Agoes Achmad Masroeri, M.Eng., D.Eng., selaku dosen pembimbing yang telah membimbing penulis sehingga dapat menyelesaikan tesis tepat pada waktunya.
4. Bapak R.O Saut Gurning, ST.,M.Sc., P.hd., selaku ketua program studi paska sarjana departemen Teknik Sistem Perkapalan sekaligus dosen wali yang selalu membantu dan memotivasi kami agar kami dapat menyelesaikan studi tepat pada waktunya.
5. Seluruh Dosen Departemen Teknik Sistem Perkapalan, yang telah memberikan ilmu dan wawasan kepada penulis.
6. Bapak Harisjon, M.Si., selaku kepala SUPM N Pariaman, Bapak Restu Widayaka, M.Si. selaku wakil kepala SUPM N Pariaman bidang sarana

pendidikan, Bapak Zalmi Rosano, MH. selaku Ka.Subbag TU, Bapak Hardhi, S.Sos. dan seluruh jajaran tenaga pendidik dan kependidikan yang telah memberikan kesempatan dan dukungan untuk dapat melanjutkan pendidikan.

7. Ibu Titi, Ibu Tinuk, Mamiq Luthfi dari Pusdik BRSDMKP yang telah banyak membantu kami.
8. Rekan-rekan mahasiswa paska sarjana departemen Teknik Sistem Perkapalan (Pak (Kol) Hari, Dani, Frengki, Dimas, Donny, Thoriq, Otto).
9. Rekan-rekan mahasiswa pejuang tesis (bang Nazar, Dicky, Ayuk, Hayy).
10. Rekan-rekan mahasiswa di laboratorium instrumentasi dan pengukuran departemen Teknik Elektro, Arif dan Giffari yang telah membantu penulis dalam penelitian.
11. Bapak Toni Himawan, ST dan Ibu Aryani Rachmawati, M.Si selaku *owner* dari MSA *Farm*, yusuf, zul dan *crew* dari MSA *Farm* yang telah banyak membantu penulis.
12. Rekan satu kosan di Klampis, Mas Eddy, Mas Barokah, Pak Bos (Darmawan), dan peserta tugas belajar KKP di ITS (Kak Yusep, Mas Agus, Mas Renest), senior dari Timorleste Kak Pinto atas masukan dan motivasi yang diberikan kepada penulis.
13. Senior paska sarjana, mas Danang yang selalu repot ngurusin kami dari hari pertama kami di ITS, mas Gusma yang *humble*. Serta seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Dengan keterbatasan pengalaman, ilmu maupun pustaka yang ditinjau, penulis menyadari bahwa tesis ini masih banyak kekurangan dan pengembangan lanjut agar benar-benar bermanfaat. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran agar tesis ini lebih sempurna serta sebagai masukan bagi penulis untuk penelitian dan penulisan karya ilmiah di masa yang akan datang.

Surabaya, Januari 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS .....	v
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xvi
DAFTAR TABEL .....	xxi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Tujuan Penelitian .....	5
1.4 Batasan Masalah .....	5
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Energi Surya .....	7
2.1.1 Kondisi Energi Surya di Dunia .....	7
2.1.2 Teknologi Photovoltaic .....	9
2.2 Energi Angin .....	9
2.2.1 Perkembangan Energi Angin di Dunia .....	10
2.2.2 Turbin Angin .....	10
2.3 Sistem Hibrid .....	14
2.3.1 Panel surya .....	16
2.3.2 Turbin angin .....	17
2.3.3 <i>Charge controller</i> .....	18
2.3.4 <i>Battery</i> .....	18
2.3.5 <i>Inverter</i> .....	21

2.3.6	Analisa Kelistrikan .....	23
2.3.7	Analisa Ekonomi .....	28
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....		29
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian .....	29
3.2	Tahapan Pengerjaan Penelitian .....	29
3.3	Studi Pustaka .....	30
3.4	Studi Lapangan.....	31
3.5	Perhitungan Daya Beban .....	31
3.6	Perhitungan Daya Turbin Angin .....	32
3.7	Konfigurasi Pembagian Beban .....	32
3.8	Optimasi Sistem Hibrid .....	33
3.9	Analisa Kelistrikan .....	33
3.9.1	<i>Starting motor analysis</i> .....	33
3.10	Analisa Ekonomi .....	33
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....		35
4.1	Sistem Kelistrikan Pada Tambak .....	35
4.1.1	Single Line Diagram Kelistrikan Tambak.....	35
4.1.2	Perhitungan Daya Beban .....	35
4.2	Perhitungan Daya Turbin Angin .....	36
4.2.1	Data Kecepatan Angin.....	36
4.2.2	Penentuan Jenis Turbin.....	38
4.3	Konfigurasi Sistem Hibrid.....	39
4.3.1	Konfigurasi Jam Operasi Sumber Energi Listrik .....	39
4.3.2	Pembagian Daya Beban.....	40
4.3.3	Jumlah Energi Beban.....	43
4.4	Optimisasi Kelistrikan Sistem Hibrid.....	46
4.4.1	<i>Lay out</i> Sistem Hibrid.....	46
	48	
4.4.2	Analisa <i>Load Flow</i> .....	47
4.4.3	<i>Optimal Capacitor Placement</i> .....	59
4.4.4	Desain <i>Automatic Transfer Switch</i> .....	63
4.5	Analisa kelistrikan.....	71
4.5.1	Analisa Starting Motor. ....	71



4.5.2	Hasil Analisa Starting Motor .....	80
4.6	Perhitungan Komponen .....	81
4.7	Analisa Ekonomi.....	83
4.7.1	Biaya Modal Sistem Hibrid.....	83
4.7.2	Investasi Tambak .....	86
4.7.3	Analisa Kelayakan Finansial <i>Full Grid</i> .....	89
4.7.4	Analisa Kelayakan Finansial Dengan Sistem Hibrid .....	94
4.7.5	Perbandingan Analisa Ekonomi Antara Penggunaan Listrik Full Grid Dengan Hibrid .....	99
4.7.6	Analisa Kelayakan Finansial Dengan Sistem Full Grid (Pada Kenaikan Tarif 25%).....	100
4.7.7	Analisa Kelayakan Finansial Dengan Sistem Hibrid (Pada Kenaikan Tarif 25%).....	102
4.7.8	Perbandingan Analisa Ekonomi Antara Penggunaan Listrik Full Grid Dengan Hibrid (Kenaikan tarif 25%) .....	104
BAB 5 KESIMPULAN.....		105
DAFTAR PUSTAKA .....		107
LAMPIRAN.....		111
BIODATA PENULIS .....		126

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Intensitas radiasi matahari di Indonesia .....	7
Gambar 2. 2 Negara dengan pembangkit energi terbarukan teratas di dunia. ....	8
Gambar 2. 3 Volume produksi PV di dunia .....	8
Gambar 2. 4 Kapasitas panel PV terpasang di dunia .....	9
Gambar 2. 5 Cara kerja sel Photovoltaic.....	10
Gambar 2. 6 Perkembangan energi angin di dunia .....	11
Gambar 2. 7 Komponen turbin angin dengan horizontal axis .....	12
Gambar 2. 8 Hubungan antara <i>Power coefficient</i> / <i>rotor efficiency</i> dengan .....	13
Gambar 2. 9. Diagram skema sistem hibrid ( <i>full renewable energi</i> ) .....	15
Gambar 2. 10. Desain <i>interconnection hybrid (solar-wind)</i> dengan <i>grid</i> .....	15
Gambar 2. 11 Solar panel.....	16
Gambar 2. 12 Pedoman sudut pemasangan panel PV .....	16
Gambar 2. 13 Jenis-jenis kedudukan panel PV .....	17
Gambar 2. 14 Turbin angin <i>vertical axis</i> .....	18
Gambar 2. 15 <i>Hybrid Charge Controller</i> .....	18
Gambar 2. 16 persamaan kimia <i>untuk battery lead-acid</i> untuk <i>charge</i> dan <i>discharge</i> .....	19
Gambar 2. 17 konstruksi dari battery Zinc-Air .....	20
Gambar 2. 18 Rangkaian <i>inverter</i> DC-AC 3 phase.....	21
Gambar 2. 19 Inverter .....	21
Gambar 2. 20 Bentuk gelombang <i>inverter</i> .....	22
Gambar 2. 21 Feed in Inverter .....	22
Gambar 2. 22 <i>Tool</i> analisa aliran daya pada ETAP 12 .....	23
Gambar 2. 23 Segitiga daya .....	23
Gambar 2. 24 <i>Tool</i> analisa hubung singkat pada ETAP 12 .....	24
Gambar 2. 25. MCB dan MCCB.....	25
Gambar 2. 26. RCCB .....	26
Gambar 2. 27 <i>Overvoltage/undervoltage relay</i> .....	26
Gambar 2. 28. <i>Phase failure relay</i> .....	27

Gambar 3. 2 <i>Flow Chart</i> metodologi penelitian.....	30
Gambar 4. 1 <i>Single line</i> diagram kelistrikan pada tambak .....	35
Gambar 4. 2 Jarak optimal penempatan turbin angin .....	46
Gambar 4. 3 <i>Layout</i> penempatan turbin angin .....	48
Gambar 4. 4 <i>mounting</i> panel PV .....	49
Gambar 4. 5 <i>Layout</i> Penempatan Panel PV .....	49
Gambar 4. 6 <i>Composit network</i> dari tambak .....	50
Gambar 4. 7 <i>Composit network</i> dari pompa .....	50
Gambar 4. 8 <i>Single line diagram</i> sistem hibrid .....	51
Gambar 4. 9 Diagram kerja <i>case 1</i> (06.00-10.00) .....	52
Gambar 4. 10 Aliran daya pada kantor/mess.....	52
Gambar 4. 11 Diagram kerja <i>case 2</i> (08.00-11.00) .....	53
Gambar 4. 12 Aliran daya pada bus pompa saat pompa air tawar beroperasi.....	53
Gambar 4. 13 Diagram kerja <i>case 3</i> (16.00-24.00) .....	54
Gambar 4. 14 Aliran daya pada bus pompa saat pompa air laut beroperasi.....	54
Gambar 4. 15 diagram kerja <i>case 4</i> (06.00-15.00) .....	55
Gambar 4. 16 Aliran daya pada bus tambak 1 .....	55
Gambar 4. 17 Diagram kerja <i>case 5</i> (06.00-10.00) .....	56
Gambar 4. 18 Aliran daya dari <i>grid</i> ke beban pada <i>case 5</i> .....	56
Gambar 4. 19 Diagram kerja <i>case 6</i> (10.00-15.00) .....	57
Gambar 4. 20 Aliran daya dari panel PV ke beban .....	57
Gambar 4. 21 Aliran daya pada <i>case 7</i> (15.00-06.00).....	58
Gambar 4. 22 Aliran daya pada <i>case 7</i> (15.00-06.00).....	58
Gambar 4. 23 Aliran daya pada bus <i>composit network</i> pompa (pompa air tawar beroperasi) sebelum dan sesudah penambahan kapasitor daya .....	60
Gambar 4. 24 Aliran daya pada <i>composit network</i> pompa (pompa air laut beroperasi) sebelum dan sesudah penambahan kapasitor daya .....	60
Gambar 4. 25 Aliran daya pada <i>composit network</i> tambak 1 sebelum dan sesudah penambahan kapasitor daya.....	61
Gambar 4. 26 Aliran daya pada bus <i>grid</i> (06.00-10.00) sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor daya. ....	61

Gambar 4. 27 Aliran daya pada bus <i>inverter</i> panel PV (06.00-10.00) sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor daya .....	62
Gambar 4. 28 Aliran daya pada bus grid (15.00-06.00) sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor daya.....	63
Gambar 4. 29 Diagram kerja <i>automatic switch controller</i> .....	64
Gambar 4. 30 Diagram kontrol <i>automatic transfer switch</i> .....	66
Gambar 4. 31 <i>Ladder program</i> untuk <i>auto transfer switch</i> .....	69
Gambar 4. 32 <i>Ladder program</i> untuk <i>auto transfer switch</i> (lanjutan).....	70
Gambar 4. 33 <i>Ladder program</i> untuk <i>auto transfer switch</i> (lanjutan).....	71
Gambar 4. 34 Grafik tegangan listrik pada bus pompa ( <i>case 2</i> ).....	72
Gambar 4. 35 Besarnya tegangan listrik pada bus pompa setelah Analisa starting motor pada <i>case 2</i> .....	73
Gambar 4. 36 Grafik tegangan listrik pada bus pompa ( <i>case 3</i> ).....	73
Gambar 4. 37 Besarnya tegangan listrik pada bus pompa setelah Analisa starting motor pada <i>case 3</i> .....	74
Gambar 4. 38 Grafik tegangan listrik pada bus tambak 1 ( <i>case 4</i> ).....	74
Gambar 4. 39 Besarnya tegangan listrik pada bus pompa setelah Analisa starting motor pada <i>case 4</i> .....	75
Gambar 4. 40 Diagram kontrol untuk kincir pada tambak 1 .....	75
Gambar 4. 41 Diagram daya untuk kincir pada tambak 1.....	76
Gambar 4. 42 Grafik tegangan listrik pada bus 15 ( <i>case 5</i> ).....	76
Gambar 4. 43 Besarnya tegangan listrik pada bus 15 setelah Analisa starting motor pada <i>case 5</i> .....	77
Gambar 4. 44 Grafik tegangan listrik pada bus 15 pada bus <i>inverter</i> panel PV ...	77
Gambar 4. 45 Besarnya tegangan listrik pada bus <i>inverter</i> panel PV setelah Analisa starting motor pada <i>case 6</i> .....	78
Gambar 4. 46 Diagram kontrol untuk beban pada <i>case 6</i> .....	78
Gambar 4. 47 Proses pergantian sumber daya listrik dari <i>grid</i> ke panel surya.....	79
Gambar 4. 48 Grafik tegangan listrik pada bus 15 ( <i>case 7</i> ) pada bus <i>inverter</i> panel PV.....	80
Gambar 4. 49 Besarnya tegangan listrik pada bus 15 setelah Analisa <i>starting motor</i> pada <i>case 7</i> .....	80

Gambar 4. 50 <i>Single line diagram</i> sistem hibrid yang didesain.....	85
Gambar 4. 51 Grafik <i>payback periode</i> (PP) sistem <i>full grid</i> dan <i>hibrid</i> .....	99
Gambar 4. 52 Grafik <i>payback periode</i> (PP) sistem <i>full grid</i> dan <i>hibrid</i> ( <i>pada kenaikan tarif 25%</i> ) .....	104

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Data beban listrik .....	31
Tabel 3. 2 Contoh tabel pengambilan data kecepatan angin.....	32
Tabel 3. 3 Contoh tabel pembagian jam kerja beban .....	32
Tabel 4. 1 Data beban listrik pada tambak .....	36
Tabel 4. 2 Data energi beban dalam 1 tahun .....	37
Tabel 4. 3 Data kecepatan angin .....	38
Tabel 4. 4 Daya turbin angin pada jam tertentu .....	39
Tabel 4. 5 pembagian jam kerja sumber energi listrik .....	39
Tabel 4. 6 Daya beban pada jam tertentu dalam 1 hari .....	40
Tabel 4. 7 Jumlah energi beban dalam 1 hari.....	41
Tabel 4. 8 Pembagian daya beban listrik hari ke 1 .....	42
Tabel 4. 9 Pembagian daya beban listrik hari ke 2-31 .....	43
Tabel 4. 10 Energi beban pada hari ke 1 .....	44
Tabel 4. 11 Energi beban pada hari ke 2-31.....	44
Tabel 4. 12 Jumlah energi listrik dari <i>grid</i> yang dapat dihemat.....	45
Tabel 4. 13 Biaya tagihan listrik ( <i>Full grid</i> ) .....	45
Tabel 4. 14 Biaya tagihan listrik dalam 1 hari yang dapat dihemat.....	45
Tabel 4. 15 <i>Case</i> untuk analisa <i>load flow</i> .....	47
Tabel 4. 16 Hasil analisa <i>load flow</i> .....	58
Tabel 4. 17 Hasil <i>Optimal Capacitor Placement</i> .....	63
Tabel 4. 18 Keterangan fungsi <i>relay</i> diagram kerja.....	64
Tabel 4. 19 Fungsi komponen dan terminal <i>programmable relay</i> pada diagram kontrol .....	66
Tabel 4. 20 <i>Drop voltage</i> yang diizinkan pada saat <i>starting motor</i> .....	71
Tabel 4. 21 Hasil analisa <i>starting motor</i> .....	81
Tabel 4. 22 Jumlah komponen sistem hibrid .....	82
Tabel 4. 23 Biaya modal sistem hibrid.....	83
Tabel 4. 24. <i>Fix Coast</i> .....	86
Tabel 4. 25 <i>Variable cost</i> .....	86
Tabel 4. 26 Hasil Panen .....	87

Tabel 4. 27 Harga udang / kg dalam rupiah .....	88
Tabel 4. 28 Hasil penjualan dalam rupiah .....	88
Tabel 4. 29 <i>Cashflow Full Grid</i> (Tahun 1-6).....	91
Tabel 4. 30 <i>Cashflow Full Grid</i> (Tahun ke 7-12).....	92
Tabel 4. 31 <i>Cashflow Full Grid</i> (Tahun ke13-15).....	93
Tabel 4. 32 NPV .....	90
Tabel 4. 33 <i>Cashflow Hibrid</i> (Tahun ke 1-6) .....	95
Tabel 4. 34 <i>Cashflow Hibrid</i> (Tahun ke 7-12) .....	96
Tabel 4. 35 <i>Cashflow Hibrid</i> (Tahun ke 13-15) .....	97
Tabel 4. 36 NPV dengan sistem hibrid.....	98
Tabel 4. 37 Perbandingan antara penggunaan listrik <i>full grid</i> dengan hibrid .....	99
Tabel 4. 38 Perbandingan biaya listrik sebelum dan sesudah kenaikan tarif .....	100
Tabel 4. 39 NPV dengan sistem <i>full grid</i> (pada kenaikan tarif 25%).....	101
Tabel 4. 40 Biaya listrik pada sistem hibrid pada kenaikan tarif 25% .....	102
Tabel 4. 41 NPV pada sistem hibrid (pada kenaikan tarif 25%) .....	103
Tabel 4. 42 Perbandingan Analisa Ekonomi Antara Penggunaan Listrik Full Grid Dengan Hibrid (Kenaikan tarif 25%) .....	104



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Lama Penyinaran Bulanan (Persen).....	111
Lampiran 2. Data kecepatan angin.....	112
Lampiran 3 Spesifikasi panel surya .....	117
Lampiran 4 Spesifikasi Turbin angin.....	118
Lampiran 5 Spesifikasi inverter panel PV .....	120
Lampiran 6 spesifikasi inverter turbin angin .....	122
Lampiran 7 Spesifikasi Programmable/smart relay .....	124

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

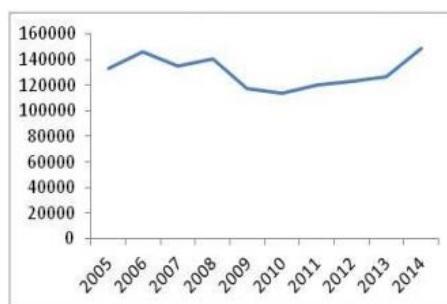
### **1.1 Latar Belakang**

Udang merupakan salah satu jenis komoditas perikanan yang menjadi sumber protein yang paling digemari oleh masyarakat Indonesia. Udang juga merupakan salah satu andalan komoditas ekspor Indonesia. ekspor udang pada tahun 2015 sebanyak 124.000, tahun 2016 sebanyak 131.000, dan tahun 2017 mencapai 138.000 ton (KKP 2018). Meningkatnya nilai ekspor udang membuka peluang bagi peningkatan produksi udang di daerah. Provinsi Nusa Tenggara Barat merupakan salah satu daerah penghasil udang terbesar di Indonesia. Pada tahun 2014 produksi udang (vannamei) mencapai 76.000 ton terbesar kedua setelah Jawa Barat yang mencapai 78.985 ton (DJPB, 2014).



Gambar 1. 1 Udang Vannamei

Sumber : (DJPB, 2014)

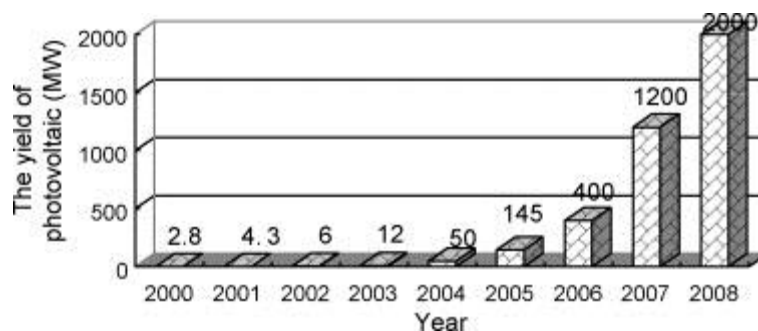


Gambar 1. 2 Grafik peningkatan ekspor udang

Sumber : (BPS 2015) dalam (Setiyanto 2016)(Camelia Mohani Edy Yulianto Kholid Mawardi 2016)

*MSA Farm* merupakan salah satu perusahaan dibidang budidaya perikanan yang berlokasi di kecamatan bayan kabupaten lombok utara NTB yang memiliki luas lahan 12.526 m<sup>2</sup> yang dikelola oleh Bapak Ir. Tony Himawan dan Ibu Aryani, M.Sp. Pasokan energi listrik pada tambak *MSA Farm* dilayani oleh *grid* dari PLN dengan kapasitas daya 200 KVA dengan *back up* 2 unit generator dengan penggerak motor diesel dengan masing-masing unit menghasilkan daya sebesar 120 KVA. Budidaya udang di tambak *MSA Farm* dilakukan dengan cara intensif yang membutuhkan pasokan sumber daya listrik yang cukup besar. Hal ini disebabkan tambak udang memerlukan aerasi menggunakan kincir dengan penggerak motor listrik yang bekerja selama 24 jam yang tentunya membutuhkan pasokan listrik yang stabil.

Di negara maju seperti China telah menerapkan energi terbarukan sebagai sumber energi listrik untuk melayani kebutuhan listrik, dalam kurun waktu 8 tahun (2000-2008) negara Cina telah menghasilkan 2 MW daya listrik dari panel PV seperti ditunjukkan pada gambar 1.3. Energi terbarukan saat ini juga merupakan solusi bagi kebutuhan listrik untuk operasional budidaya dengan segala kelebihanannya (Holt 2017).



Gambar 1. 3 Energi dari Photovoltaic di china

Sumber : (Liu, Wang, Zhang, & Xue, 2009.)

Energi surya dan energi angin masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan, energi surya merupakan energi alternatif yang cocok dengan daerah tropis tetapi memiliki keterbatasan waktu (hanya dapat digunakan siang hari) tetapi membutuhkan investasi yang cukup besar (Maysha *et al*, 2016)(Lakatos *et al*, 2011). Sedangkan energi angin adalah energi yang tersedia sepanjang waktu (siang dan malam) dan dapat menghasilkan energi yang besar (Lakatos *et al*, 2011) tetapi

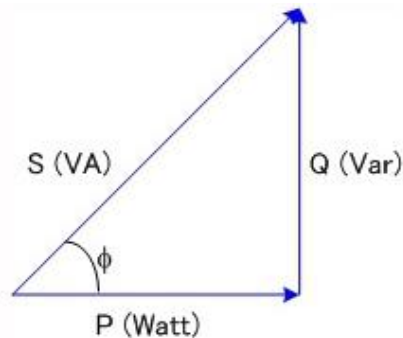
dapat terjadi *overvoltage* jika angin berembus sangat kuat dan kecepatan angin sangat dipengaruhi oleh waktu dan musim (Jaralika *et al*, 2011). Untuk menutupi masing-masing kekurangan energi angin dan energi surya maka diperlukan sistem yang dapat menggabungkan kedua sumber energi tersebut. Sistem yang menggabungkan dua atau lebih energi disebut sistem hibrid.

Potensi untuk pengembangan dan pengaplikasian sistem hibrid untuk energi surya dan angin pada budidaya perikanan khususnya budidaya udang di Indonesia sangat besar karena Indonesia memiliki potensi energi surya dan energi angin yang cukup besar, letak Indonesia di daerah khatulistiwa membuat hampir seluruh wilayah Indonesia mendapatkan sinar matahari sepanjang tahun, dan letak Indonesia di antara dua benua dan dua samudera dan terdiri dari banyak pulau membuat angin bertiup dengan stabil. Kelebihan sistem hibrid menurut Jaralika dan kawan-kawan adalah energi yang dihasilkan lebih besar karena sistem hibrid dapat mengakumulasi lebih dari dua sistem energi. Selain itu sistem hibrid juga dapat menjamin ketersediaan sumber energi listrik karena satu sistem dapat menutupi sistem yang *non available*.

Sistem hibrid yang ditawarkan dalam penelitian ini adalah gabungan antara 2 sumber energi terbarukan yaitu energi surya dan energi angin dengan *grid* atau sumber energi listrik dari PLN. Tujuan dari penggabungan ini adalah untuk memanfaatkan potensi energi terbarukan di lokasi penelitian, di mana menurut data dari kementerian ESDM potensi energi surya di provinsi NTB mencapai 9.931 MW dan potensi energi angin (Bayu) mencapai 2.605 MW. dengan memanfaatkan energi terbarukan tentunya dapat mengurangi penggunaan energi listrik yang bersumber dari PLN. Menurut riset yang dilakukan oleh Setya Budi (Budi and Suparman 2013), untuk setiap energi listrik (KWH) yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan bahan bakar batu bara menghasilkan rata-rata emisi sebesar 1,05 Kg/KWH, mengingat sebagian besar pasokan listrik di pulau lombok di suplai oleh PLTU maka dengan mengurangi pemakaian listrik dari PLN secara tidak langsung dapat mengurangi jumlah emisi yang dihasilkan.

Pada tambak udang, beban listrik terbesar adalah motor-motor listrik yang digunakan untuk menggerakkan pompa, blower dan kincir. Motor listrik adalah

beban yang bersifat induktif yang menimbulkan daya reaktif ( $Q$ ), daya reaktif ini akan menimbulkan daya semu ( $S$ ). Besarnya daya semu harus dapat dilayani oleh pembangkit listrik. Hubungan daya reaktif, daya aktif dan daya semu serta faktor daya dapat dilihat pada segitiga daya seperti ditunjukkan pada gambar 1.4.



Gambar 1. 4 Segitiga daya

Sumber : (Suhinar 2015)

Dengan mengurangi daya semu akan mengurangi beban daya semu yang harus dilayani pembangkit listrik. Cara meningkatkan faktor daya (perbandingan antara daya nyata ( $P$ ) dan daya semu ( $S$ )) adalah dengan menambahkan kapasitor daya atau disebut juga kapasitor bank.

Desain sistem hibrid yang dibuat menggunakan *programmable relay* untuk mengatur secara otomatis pembangkit listrik yang digunakan untuk melayani beban. Mengingat beberapa pembangkit listrik yaitu panel PV dan turbin angin hanya tersedia di waktu tertentu. *Programmable relay* juga mengatur kombinasi antar pembangkit listrik dalam melayani beban listrik. Penggunaan *programmable relay* juga dapat menghemat jumlah komponen yang digunakan untuk membuat sistem pengaturan otomatis.

Dengan pemanfaatan energi listrik dari sumber energi terbarukan, para pembudidaya udang dapat mengurangi biaya operasional dari pemakaian energi listrik yang bersumber dari *grid* atau PLN. Penggunaan energi terbarukan memang belum dapat menggantikan 100% kebutuhan listrik, mengingat investasi yang dibutuhkan untuk pemanfaatan energi terbarukan (surya dan angin) cukup besar. Maka dari itu penulis mencoba membuat suatu rancangan sistem hibrid yang bersumber dari dua jenis energi terbarukan yang terkoneksi dengan jaringan listrik PLN, sehingga diharapkan desain sistem hibrid yang dibuat dapat menghasilkan

sumber energi listrik baru bagi usaha budidaya udang yang dapat mengurangi biaya operasional dari kebutuhan listrik, mengingat tarif listrik dari Perusahaan Listrik Negara yang semakin meningkat setiap tahunnya.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian di atas, maka permasalahan utama yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana desain dari sistem hibrid energi surya dan energi angin dengan *grid* PLN pada budidaya udang vannamei?
2. Bagaimana analisa kelistrikan yaitu *load flow* dan *Starting motor analysis*, pada desain yang dibuat?
3. Bagaimana analisa ekonomi dari sistem hibrid energi surya dan angin yang dibuat?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan Penelitian ini berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan adalah sebagai berikut:

1. Membuat desain sistem hibrid energi surya dan angin yang optimal untuk melayani kebutuhan listrik pada budidaya udang vannamei.
2. Melakukan analisa kelistrikan pada desain sistem hibrid yang dibuat.
3. Melakukan analisa ekonomi dari sistem hibrid yang didesain.

## **1.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah yang digunakan agar penelitian ini dapat berjalan secara fokus dan terarah serta dapat mencapai tujuan yang diinginkan adalah sebagai berikut:

1. Objek penelitian adalah Tambak udang dengan jumlah 10 petak dengan ukuran rata-rata 0,146 Ha.
2. Tidak membahas proses perubahan energi surya dan energi angin menjadi energi listrik.
3. Permodelan dan analisa desain menggunakan *software* ETAP.

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Secara umum, manfaat yang didapatkan dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai acuan bagi pengembangan energi terbarukan untuk usaha budidaya perikanan.
2. Sebagai alternatif untuk pengadaan untuk suplai tenaga listrik dengan energi baru dan terbarukan.
3. Sebagai sumber literasi bagi penelitian selanjutnya mengenai sistem hibrid energi surya dan energi angin.

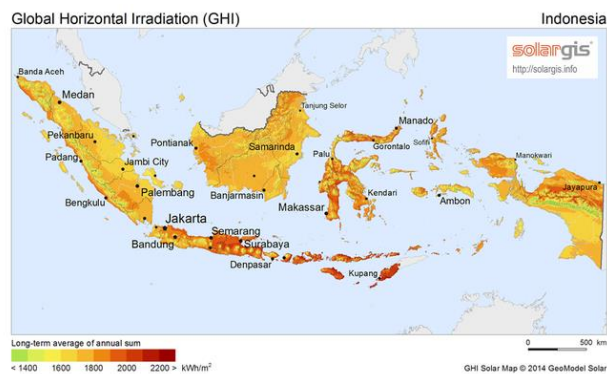


## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Energi Surya

Sumber energi dari matahari adalah sumber energi yang tidak ada habisnya. Secara teoretis besarnya energi matahari yang mencapai bumi hampir mencapai empat juta exajoule ( $1 \text{ EJ} = 10^{18}$ ) (Kabir et al, 2018). Indonesia merupakan salah satu negara dengan potensi energi surya terbesar di Dunia, hal ini disebabkan oleh letak Indonesia yang berada di garis khatulistiwa dan hanya memiliki 2 musim. Setiap tahunnya hampir di seluruh wilayah Indonesia selalu mendapatkan sinar matahari. Intensitas radiasi matahari di Indonesia cukup besar hal ini bisa dilihat pada gambar 2.1.

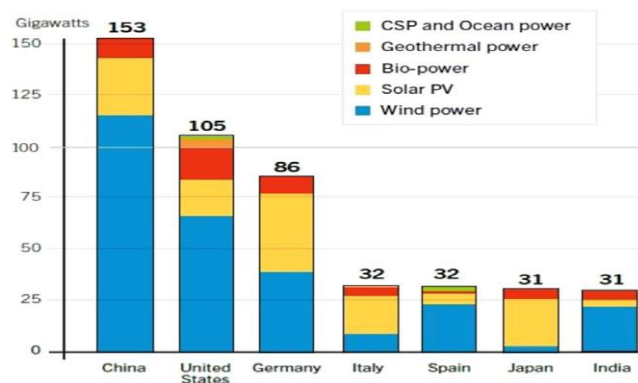


Gambar 2. 1 Intensitas radiasi matahari di Indonesia

Sumber : (Janaloka, 2015)

##### 2.1.1 Kondisi Energi Surya di Dunia

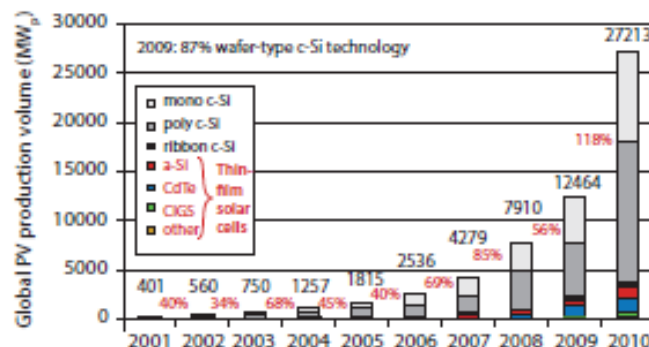
Kesadaran akan efek gas rumah kaca membuat masyarakat di seluruh dunia mulai sadar akan pentingnya penggunaan energi terbarukan. Sumber daya energi terbarukan mulai meningkat menjadi 27,7% di akhir tahun 2014 dari total pembangkit listrik di dunia (Dawn, Tiwari et al. 2016) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Negara dengan pembangkit energi terbarukan teratas di dunia.

Sumber : (Dawn, Tiwari et al. 2016)

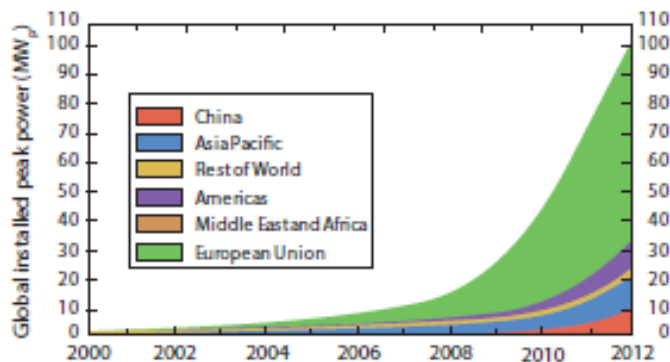
Semakin berkembangnya teknologi Photo Voltaic (PV) membuat perkembangan energi surya di seluruh dunia semakin meningkat. Begitu juga dengan investasi, tercatat lebih dari 55% investasi untuk energi terbarukan ada pada energi surya. Hal ini bisa dilihat pada Gambar 2.3 yang menunjukkan produksi PV yang semakin meningkat.



Gambar 2. 3 Volume produksi PV di dunia

Sumber : (Jager et al. 2014)

Panel PV yang terpasang semakin meningkat di seluruh dunia. Negara dengan panel PV dengan jumlah panel PV terpasang terbanyak di wilayah Asia Pasifik adalah Jepang. Negara Cina adalah negara dengan peningkatan pesat untuk pemasangan panel PV seperti ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Kapasitas panel PV terpasang di dunia

Sumber : (Jager et al. 2014)

### 2.1.2 Teknologi Photovoltaic

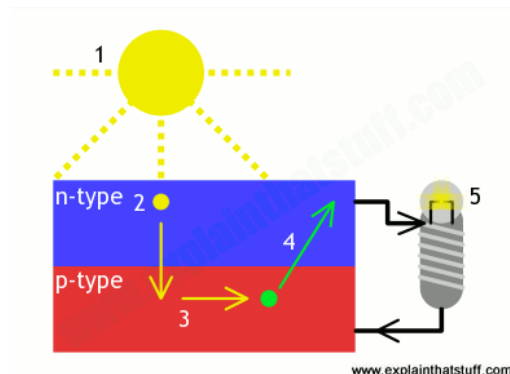
Photovoltaic yang selanjutnya disebut PV adalah seunit komponen semikonduktor yang terdiri lapisan silikon yang bersifat negatif (-) dan lapisan silikon yang bersifat positif (+). Ketika silikon tipe N dan silikon tipe P bertemu, elektron bebas dari lapisan n akan mengalir menuju lapisan P dalam sekejap dan membentuk pembatas untuk mencegah lebih banyak elektron berpindah dari dua lapisan tersebut. Pembatas kontak dari kedua lapisan ini disebut P-N junction.

Pada saat panel PV disinari oleh matahari, maka photon dari sinar matahari akan membentur elektron pada junction P-N dan memberikan energi padanya. Sinar photon akan membuat elektron terbebas dari atomnya. Elektron ini akan tertarik ke muatan positif silikon tipe N dan tertolak oleh muatan negatif di silikon tipe P. Jika seunit konduktor dihubungkan dari silikon tipe P ke beban dan juga dihubungkan ke silikon tipe N dan membentuk rangkaian. Elektron yang bergerak bebas akan bergerak melalui konduktor dari silikon tipe N menuju silikon tipe P seperti ditunjukkan pada Gambar 2. 5.

## 2.2 Energi Angin

Energi angin pertama kali digunakan sekitar 5000 tahun yang lalu di Mesir untuk menggerakkan kapal dengan layar dan di Eropa sekitar tahun 1700 hingga 1800 digunakan untuk menggiling gandum dan memompa air (Patel 2005 hal 11). Banyak faktor yang menyebabkan pesatnya perkembangan teknologi energi angin diantaranya adalah :

- Teknologi serat karbon untuk menghasilkan bilah yang kuat tetapi biaya rendah
- Adanya teknologi generator yang dapat dioperasikan dengan kecepatan yang berubah-ubah
- Turunnya harga perangkat elektronik yang berasosiasi dengan teknologi energi angin



Gambar 2. 5 Cara kerja sel Photovoltaic

Sumber : (Woodford 2016)

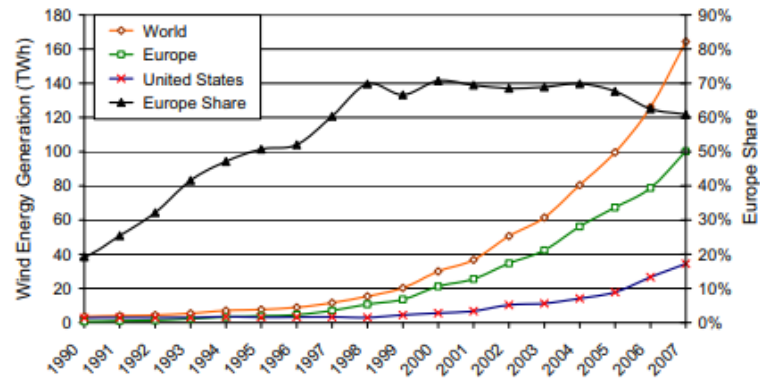
### 2.2.1 Perkembangan Energi Angin di Dunia

Hal yang menjadi batu fondasi pesatnya perkembangan energi angin di dunia adalah krisis minyak di tahun 1970. Hal tersebut membuat pemerintah Amerika Serikat ikut andil dalam pengembangan energi angin di negara tersebut. Di negara-negara Eropa instalasi turbin angin meningkat dengan pesat ditahun 80 sampai 90an (Kaldellis and Zafirakis 2011). Di Asia selatan, pembangkit listrik tenaga angin untuk kebutuhan komersial telah ada sejak tahun 1986, kapasitas pembangkit ini adalah sebesar 41,18 MW. Pakistan mengoperasikan pembangkit listrik tenaga angin dimulai tahun 2008 dengan kapasitas 6 MW, sedangkan Bangladesh mengoperasikan pembangkit tenaga angin tahun 2005 dengan total daya 900 KW, pada tahun 2013 total daya dari pembangkit tenaga angin mencapai 100 MW (Khan et al., 2017). Gambar 2. 6 berikut menunjukkan perkembangan energi angin di dunia.

### 2.2.2 Turbin Angin

Untuk mengonversi energi angin menjadi energi listrik diperlukan turbin angin. Turbin angin mengonversi energi angin dengan mengubah energi kinetik

angin menjadi energi gerak yang akan memutar generator. Penempatan turbin angin dilakukan dengan memperhitungkan banyak pertimbangan diantaranya : lokasi penduduk, lalu lintas transportasi, dan polusi suara.



Gambar 2. 6 Perkembangan energi angin di dunia

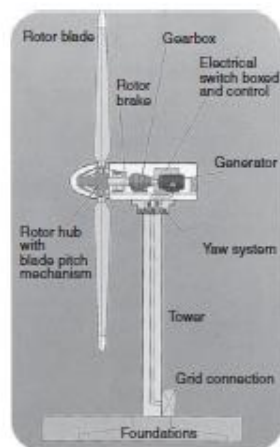
Sumber : (Kaldellis and Zafirakis 2011)

#### 2.2.2.1 Komponen Sistem

Pembangkit listrik tenaga angin terdiri lebih dari satu turbin angin dan dioperasikan secara paralel, turbin angin memiliki komponen dasar sebagai berikut:

- 1) Tower
- 2) Rotor dengan dua atau tiga bilah atau lebih yang terpasang pada hub
- 3) Poros dengan *gear* mekanik
- 4) Generator listrik
- 5) *Yaw mechanism*
- 6) Sensor dan kontrol

Penempatan komponen turbin angin dapat dilihat pada Gambar 2. 7



Gambar 2. 7 Komponen turbin angin dengan horizontal axis

Sumber : (Patel 2005)

#### 2.2.2.2 Daya Turbin Angin

Besarnya daya yang dihasilkan oleh turbin angin tergantung dari densitas udara, *swept area*, *velocity cubed* secara matematika dapat ditulis

$$P_{max} = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times V^3 \times C_p \quad (2. 1)$$

Dimana,

$P_{max}$  = daya yang dihasilkan turbin angin (W)

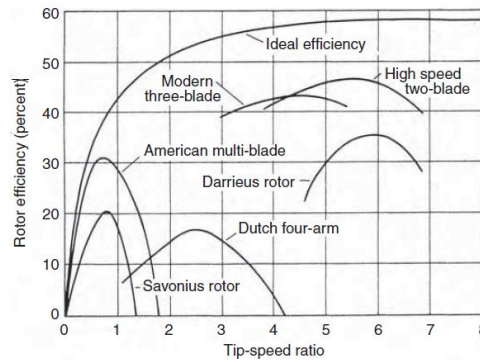
$\rho$  = densitas dari udara ( $\text{Kg/m}^3$ )

$A$  = luas area yang disapu oleh bilah turbin ( $\text{m}^2$ )

$V$  = kecepatan angin ( $\text{m/s}^2$ )

$C_p$  = *Power coefficient / rotor efficiency*

Dalam praktiknya besarnya nilai  $C_p$  berkisar antara 0,4-0,5 untuk turbin kecepatan tinggi dengan dua bilah dan antara 0,2-0,4 untuk turbin kecepatan rendah dengan banyak bilah. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2. 8.



Gambar 2. 8 Hubungan antara *Power coefficient / rotor efficiency* dengan  
*Tip-speed ratio*

Sumber : (Patel 2005 hal 29)

Sedangkan *tip speed ratio* ( $\lambda$ ) adalah hubungan antara kecepatan angin dan kecepatan rotasi dari tip bilah rotor. Pengaruh tip speed ratio (TSR) sangat penting terhadap kinerja dari turbin angin, secara umum, semakin tinggi TSR akan meningkatkan efisiensi dari turbin angin tetapi akan menyebabkan kemungkinan terjadinya beberapa kerugian yaitu :

- 1) *Blade rotor* dengan kecepatan tinggi (lebih dari 80 m/s) akan menyebabkan erosi pada *leading edge*.
- 2) Akan menimbulkan *noise* atau polusi suara
- 3) Getaran yang berlebihan

TSR secara matematika dapat ditulis :

$$\lambda = \frac{v}{V} = \frac{\omega r}{V} \quad 2)$$

Dimana :

$V$  : kecepatan angin (m/s)

$V = \omega r$  : kecepatan tip rotor (m/s)

$r$  : jari-jari rotor (m)

### 2.2.2.3 *Specific Rated Capacity (SRC)*

*Specific rated capacity (SRC)* sering digunakan sebagai indeks perbandingan pada desain turbin angin. SRC mengukur kapasitas daya yang dihasilkan per meter persegi dari luasnya daerah yang di sapu oleh bilah turbin dan dengan satuan kW/m<sup>2</sup>.

$$SRC = \frac{\text{Generator electrical capacity}}{\text{Rotor-swept area}} \quad (2.3)$$

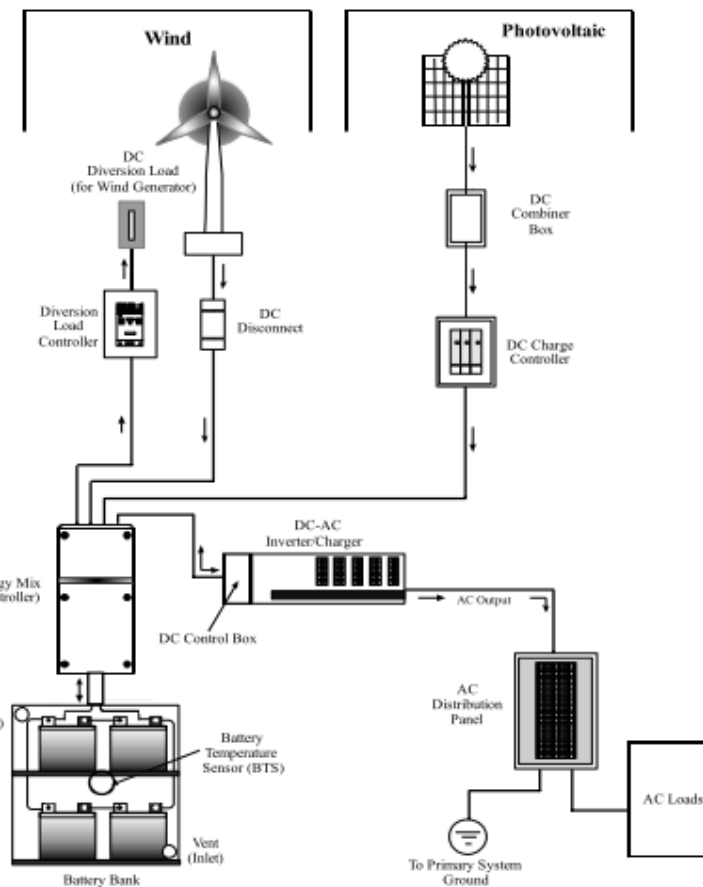
Sebagai contoh sistem turbin angin dengan data 300/30- kW/m berarti turbin angin memiliki daya 300 kW dan turbin dengan diameter 30 m. SRC dari turbin tersebut adalah  $300/\pi \times 15^2 = 0.42 \text{ kW/m}^2$ . SRC meningkat sebanding dengan diameter turbin dan memberikan keuntungan ekonomi. Tetapi semakin tinggi SRC akan memberikan *stress* pada rotor yang dapat menyebabkan kelelahan bahan (Patel 2005 hal 70).

### 2.3 Sistem Hibrid

Menurut Ingole (Ingole et al 2015) sistem hibrid adalah kombinasi dari dua unit sumber energi untuk memberikan daya pada beban. Sistem hibrid memiliki *reliability* yang baik, efisiensi yang tinggi, mengurangi emisi dan dengan biaya murah.

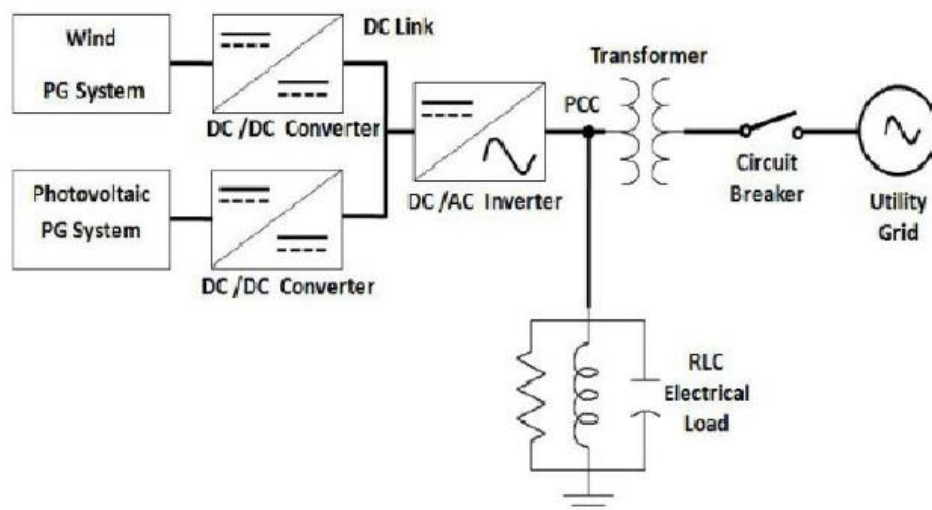
Sistem hibrid yang menggunakan *full renewable energi* ditunjukkan pada Gambar 2. 9. Salah satu sistem hibrid adalah sistem hibrid dengan *grid interconnection*, panel PV dan turbin angin yang diusulkan oleh Karthick et al yang ditunjukkan pada Gambar 2. 10, turbin angin dan panel PV akan memberikan arus listrik DC pada inverter kemudian inverter akan menyesuaikan tegangan listrik dengan *grid* dan kemudian bersama-sama memberikan arus listrik kepada beban.





Gambar 2. 9. Diagram skema sistem hibrid (*full renewable energi*)

Sumber : (Adejumobi et al, 2011)



Gambar 2. 10. Desain *interconnection hybrid (solar-wind)* dengan grid

Sumber : (Karthick & Manoharan, 2016)

Untuk mendesain seunit sistem hibrid maka yang harus di pertimbangkan adalah data-data sebagai berikut yaitu :

- 1) Jumlah rata-rata penyinaran sinar matahari
- 2) *Daily Solar Radiation horizontal (KWH/m<sup>2</sup>/day)*
- 3) *Mean Annual Hourly Wind Speed (m/sec)*
- 4) *Wind Power that can be generated from the wind turbine*

Komponen-komponen yang dibutuhkan untuk mendesain sistem hibrid energi surya dan angin adalah :

### 2.3.1 Panel surya

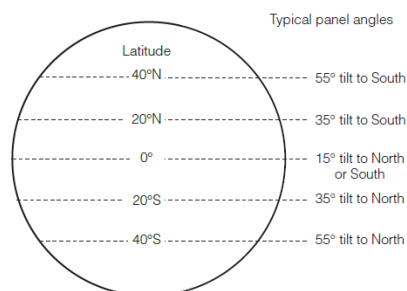
Panel surya digunakan untuk mengonversi radiasi sinar matahari menjadi energi listrik.



Gambar 2. 11 Solar panel

Sumber : (Patel 2005)

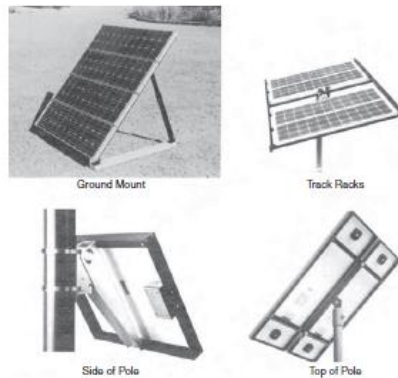
Dalam pemasangan panel PV beberapa hal yang harus diperhatikan diantaranya adalah ; posisi dari lokasi yang akan menentukan arah dari panel PV terhadap matahari. Pemasangan panel PV dengan sudut yang sesuai akan mengoptimalkan penerimaan energi matahari.



Gambar 2. 12 Pedoman sudut pemasangan panel PV

Sumber : (Hankins 2009)

Kedudukan (*mounting*) dari Panel PV dapat bervariasi tergantung dari kebutuhan dan sifat dari lokasi. Teknologi terbaru panel PV adalah Panel yang terbuat dari *Amorphous silicon technology* yang dibuat sedemikian rupa sehingga dapat menggantikan atap sekaligus sebagai panel PV yang dapat mengurangi berat dan biaya dari pemasangan (Hankins 2009).



Gambar 2. 13 Jenis-jenis dudukan panel PV

Sumber : (Patel 2005)

### 2.3.2 Turbin angin

Turbin angin mengonversi energi angin menjadi energi listrik, dalam pemilihan turbin angin yang digunakan dalam sistem hibrid ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu ; kecepatan angin minimal turbin dapat berputar (*cut in speed*), kecepatan angin rata-rata, densitas udara, dan parameter bentuk ( $K$ ) dari kecepatan angin. Parameter bentuk dari kecepatan angin dapat dihitung dengan menggunakan formula berikut.

$$K \left[ \frac{0,9874}{\frac{\sigma}{\bar{V}}} \right]^{1,093} \quad (2. 4)$$

Di mana :

$K$  = parameter bentuk

$\sigma$  = standar deviasi

$\bar{V}$  = kecepatan rata-rata

Jika nilai  $K \leq 3$  maka angin tersebut bersifat reguler.



Gambar 2. 14 Turbin angin *vertical axis*

Sumber : (Burdny, 2014)

### 2.3.3 *Charge controller*

*Charge controller* memiliki fungsi mengontrol sumber yang aktif atau tidak aktif. Peralatan ini secara bersamaan mengisi baterai dan juga memberi daya pada beban. *Controller* memiliki perlindungan over-charge, perlindungan hubung singkat, dan fungsi beban-*dump* otomatis. *Charge controller* juga harus dapat menambah daya sehingga permintaan beban dapat dipenuhi. Dan ketika daya dari sumber tidak memadai, *Charge controller* harus dapat mengekstrak daya dari baterai dan memberikannya kepada beban.



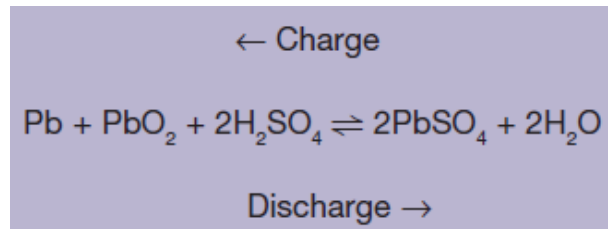
Gambar 2. 15 *Hybrid Charge Controller*

Sumber : (Anonymus, 2018)

### 2.3.4 *Battery*

*Battery* merupakan kumpulan dari “*electrochemical cells*” yang dapat mengonversi energi kimia menjadi energi listrik. Sel *battery* terdiri dari dua buah elektroda yang terendam dalam cairan elektrolit. Ketika rangkaian

(*circuit*) yang terbentuk dari dua elektroda terhubung, maka akan ada arus listrik yang mengalir. Arus listrik ini akan membentuk reaksi kimia yang *reversible* antara elektroda dan elektrolit.



Gambar 2. 16 persamaan kimia untuk *battery lead-acid* untuk *charge* dan *discharge*

Sumber : (Hankins 2009)

Secara garis besar terdapat 6 jenis *battery* dari jenis *rechargeable* yang dapat digunakan pada masa sekarang yaitu :

#### 2.3.4.1 *Lead-Acid*

Jenis *battery* ini adalah yang paling banyak digunakan saat ini karena *battery* ini memiliki rasip performa dan biaya yang tinggi. *Battery* dengan jenis ini dari segi siklusnya dibagi menjadi dua yaitu ; yaitu *shallow cycle* di mana pada jenis *battery* ini dapat mengeluarkan energi dengan cepat untuk menstart *engine* dan dapat diisi kembali dengan cepat, *battery* jenis ini banyak digunakan pada otomotif. Jenis yang kedua adalah dari jenis *deep cycle* di mana *battery* jenis ini sangat cocok untuk kebutuhan di mana *battery* akan berulang kali dalam kondisi penuh dan hampir kosong.

#### 2.3.4.2 *Nickel-Cadmium*

*Battery* NiCd adalah *battery* yang menggunakan cadmium sebagai elektroda positif dan Nikel hidroksida sebagai elektroda negatif. Kedua elektroda tersebut dipisahkan oleh *separator* dari Nylon dan ditempatkan pada elektrolit dari potasium hidroksida. *Battery* NiCd memiliki umur *deep-cycle* yang panjang dan memiliki toleransi suhu yang tinggi. *Battery* ini memiliki power yang *rechargeable* yang tinggi tetapi unsur cadmium sangat berbahaya, sehingga *battery* ini digantikan oleh *battery* dari jenis NiMH dan Li-ion.

#### 2.3.4.3 *Nikel-Metal Hydride*

Battery jenis ini merupakan lanjutan dari teknologi battery NiCd. Perbedaannya adalah anoda dari battery ini terbuat dari Metal Hydride, battery NiMH lebih aman tetapi mempunyai power lebih rendah dapat rusak jika terjadi *overcharging*.

#### 2.3.4.4 *Lithium-Ion*

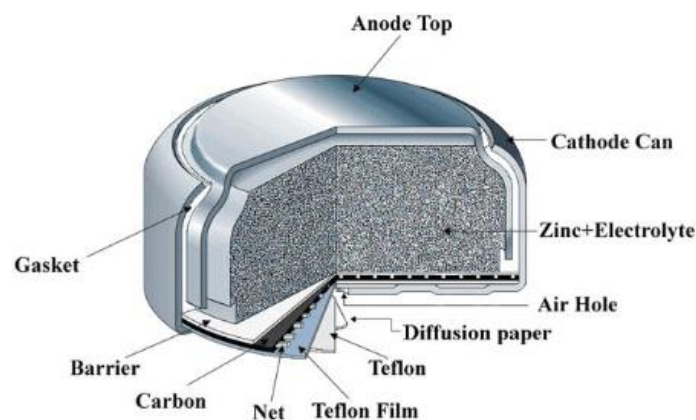
Teknologi *battery* ini termasuk teknologi baru yang dapat menyimpan energi lebih banyak dibandingkan jenis *battery* Lead-Acid. Setiap sel dari *battery* Li-Ion dapat memberikan beda potensial 3,5 V sedangkan *battery* Lead-Acid hanya dapat memberikan 2.0 V. Battery Li-Ion sangat rentan terhadap kerusakan karena *overcharging*.

#### 2.3.4.5 *Lithium-Polymer*

*Battery* lithium ini adalah jenis *battery* dengan *electrolite* dari *polymer* padat. *Polymer* padat meningkatkan energi spesifik dari sel yang bekerja sekaligus sebagai *elektrolit* dan *separator*.

#### 2.3.4.6 *Zinc-Air*

Battery jenis ini memiliki elektroda negatif yang terbuat dari zinc dan elektroda positif yang terbuat dari karbon, serta *elektrolit* dari potasium hidroksida, yang mana ketiganya terekspos oleh udara. Pada saat *discharge*, oksigen dari udara akan berkurang pada elektroda karbon dan elektroda zinc akan teroksidasi. Pada masa *charging*, oksigen akan diserap dari udara dan dikonversi menjadi ion oksigen untuk dialirkan ke anoda zinc.

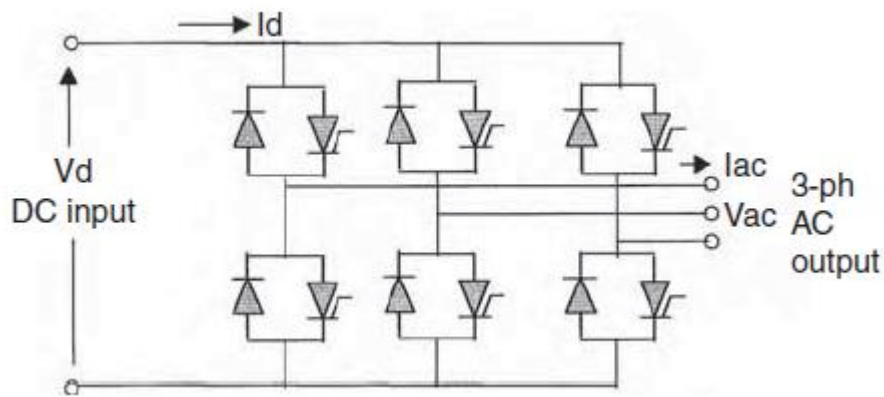


Gambar 2. 17 konstruksi dari battery Zinc-Air

Sumber : (Anonymus, 2018)

### 2.3.5 Inverter

*Inverter* digunakan untuk mengubah besarnya tegangan dan jenis arus (DC ke AC) agar dapat digunakan pada beban. Gambar 2.18 menunjukkan rangkaian elektronik dari inverter dimana komponen thyristor akan membuat memodulasi arus DC sehingga membentuk gelombang sinusoida (AC).



Gambar 2. 18 Rangkaian *inverter* DC-AC 3 phase

Sumber : (Patel 2005)

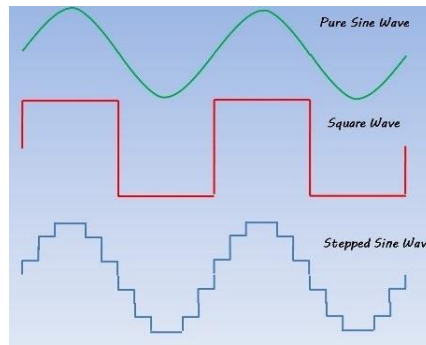


Gambar 2. 19 Inverter

Sumber : (Hankins 2009)

Efisiensi inverter berkisar antara 60 dan 90 %, efisiensi inverter bervariasi tergantung dari jenis beban dan hampir semua inverter tidak dapat mencapai rating

efisiensinya sepanjang waktu. Menurut bentuk gelombang sinusoida yang dihasilkan, inverter dibagi menjadi tiga yaitu ; *sine wave*, *modified sine wave*, dan *square wave*.



Gambar 2. 20 Bentuk gelombang *inverter*

Sumber : (Royle, 2017)

*Inverter* dengan bentuk gelombang *square wave* lebih murah tetapi gelombang dengan bentuk seperti itu dapat merusak peralatan elektronik dan tidak dapat bekerja pada beban yang bersifat kapasitif atau induktif. *Inverter* dengan *modified sine wave* adalah *inverter* yang dapat digunakan pada beban yang sifatnya induktif dan kapasitif maupun peralatan elektronik yang tidak memerlukan bentuk gelombang penuh. *Inverter pure sine wave* digunakan pada peralatan elektronik yang sensitif yang memerlukan bentuk gelombang sinusoida penuh.

Inverter yang digunakan untuk sistem on grid adalah inverter jenis *feed-in* inverter untuk *grid connect system* seperti pada gambar 2.21.



Gambar 2. 21 Feed in Inverter

Sumber : (Wikipedia, 2018)



### 2.3.6 Analisa Kelistrikan

Untuk memastikan apakah seunit sistem hibrid dapat bekerja dengan baik. Sistem hibrid dapat disimulasikan dengan menggunakan *software ETAP (Electric Transient and Analysis Program)*. *Software* ini dapat digunakan untuk menyimulasikan sistem tenaga listrik antara lain :

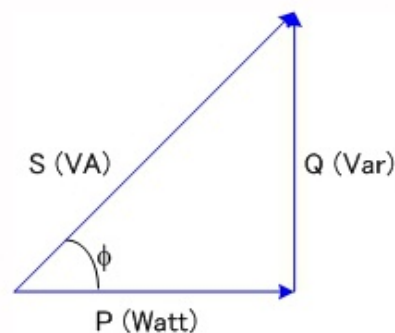
#### 2.3.6.1 Analisa aliran daya

Analisa aliran daya ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik aliran daya yang berupa pengaruh dari variasi beban dan rugi-rugi transmisi pada aliran daya dan juga mempelajari adanya tegangan jatuh di sisi beban. Informasi ini sangat dibutuhkan guna mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga dan menganalisis kondisi pembangkit maupun pembebanan. Analisis ini juga memerlukan informasi aliran daya dalam kondisi normal maupun darurat. Masalah aliran daya mencakup perhitungan aliran dan tegangan sistem pada terminal tertentu atau bus tertentu.



Gambar 2. 22 Tool analisa aliran daya pada ETAP 12

Untuk beban yang bersifat induktif, apabila diberikan daya listrik maka akan timbul daya reaktif (Q) yang arah vektornya tegak lurus dengan daya nyata (P) seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2. 23 Segitiga daya

Semakin besar daya reaktif maka akan membuat daya semu (S) semakin besar. Perbandingan antara daya nyata dengan daya semu disebut dengan faktor daya yang secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$\cos \theta = \frac{P}{S} \quad (2. 5)$$

Besarnya faktor daya yang diizinkan oleh PLN adalah sebesar 0,85. Jika pelanggan menggunakan beban dengan faktor daya kurang dari 0,85 maka akan dikenakan denda yang besarnya dikalikan dengan daya reaktif atau daya buta. Pada sistem *off grid* daya reaktif yang besar akan membebani pembangkit daya karena akan menimbulkan daya semu yang besar.

#### 2.3.6.2 Analisa hubung singkat

Pada suatu sistem tenaga listrik tidak dapat dihindarkan adanya gangguan-gangguan yang dapat merusak isolasi dari pada sistem yang dapat menyebabkan terjadinya hubung singkat. Apabila tidak segera diatasi arus hubung singkat ini dapat merusak peralatan dalam sistem tersebut. Analisa hubung singkat ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari gangguan hubung singkat terhadap sistem.



Gambar 2. 24 Tool analisa hubung singkat pada ETAP 12

Analisa hubung singkat dilakukan untuk menentukan besarnya arus listrik yang mengalir pada sistem pada interval waktu tertentu setelah kesalahan terjadi. Besarnya arus listrik setelah terjadinya *fault* bervariasi terhadap waktu hingga mencapai kondisi *steady*. Sistem proteksi harus dapat mendeteksi dan menginterupsi serta mengisolasi terjadinya kesalahan ini (hubung singkat) agar tidak menyebabkan kerusakan peralatan dan kerusakan yang lebih luas. Ada beberapa jenis hubung singkat yaitu : 3 phase, phase dengan phase, *double phase to ground*, dan phase dengan terminal. Penyebab hubung singkat dapat dibedakan menjadi 2 yaitu :

- 1) Penyebab internal yang disebabkan oleh :
  - a. Kerusakan isolasi pada peralatan
  - b. Putusnya saluran transmisi
  - c. Umur dari isolasi
  - d. Kesalahan instalasi
- 2) Penyebab eksternal yang disebabkan oleh :
  - a. Kegagalan isolasi akibat sambaran petir

- b. *Overloading* peralatan
- c. Kerusakan mekanik karena benturan, gigitan binatang dan lain-lain

#### 2.3.6.3 *Koordinasi proteksi*

Untuk menjaga agar sistem tenaga listrik tetap bekerja dengan normal, maka perlu diminimalisir terjadinya gangguan. Untuk menjaga sistem dari gangguan-gangguan listrik, maka perlu dirancang sistem proteksi. Sistem proteksi disini tidak hanya berfungsi sebagai pengaman terhadap gangguan arus berlebih, tetapi juga untuk membatasi letak gangguan sehingga tidak mengganggu jaringan atau Bus yang tidak mengalami gangguan.

Komponen-komponen yang digunakan sebagai *device* pengaman diantaranya adalah :

##### 1) *Circuit breaker*

*Circuit breaker* atau sakelar pemutus tenaga (PMT) adalah pemutus rangkaian listrik pada suatu sistem tenaga listrik yang mampu untuk membuka dan menutup rangkaian listrik pada semua kondisi, termasuk arus hubung singkat, sesuai dengan ratingnya. Pada instalasi dengan tegangan rendah (380-220) *circuit breaker* yang digunakan adalah MCCB (*Middle Current Circuit Breaker*) dan MCB (*Mini Circuit Breaker*).



Gambar 2. 25. MCB dan MCCB

Sumber : (Havells, 2018)

##### 2) *RCCB (Residual Current Circuit Breaker)*

Pada suatu kondisi suatu peralatan atau penghantar dapat mengalami kerusakan isolasi tetapi belum dapat menyebabkan hubung singkat. Jika penghantar atau peralatan ini bersentuhan atau terhubung dengan manusia langsung maka akan sangat berbahaya. RCCB akan mendeteksi terjadinya arus abnormal ini dan memutus rangkaian listrik dengan segera.



Gambar 2. 26. RCCB

Sumber : (Schneider, .2018.)

3) *Undervoltage/Overvoltage detector relay*

*Relay* ini berfungsi mendeteksi terjadinya tegangan listrik yang berlebih atau kurang (*undervoltage / overvoltage*) dari tegangan listrik nominal. *Undervoltage* dan *overvoltage* dapat menyebabkan arus listrik yang lebih besar yang dapat diterima beban yang dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik.



Gambar 2. 27 *Overvoltage/undervoltage relay*

Sumber : (Schneider 2018)

#### 4) *Phase Failure Relay*

Pada pengoperasian peralatan listrik terutama motor listrik dengan input tenaga 3 phase, besarnya tegangan antar phase dan masing-masing phase dengan netral harus sama. Jika terjadi ketidaksetimbangan akan membuat arus listrik pada *coil* motor akan menjadi besar yang dapat menyebabkan kerusakan. *Phase failure relay* akan mendeteksi jika terjadi tidak setimbangan tegangan listrik 3 phase dan memutus tegangan listrik.



Gambar 2. 28. *Phase failure relay*

Sumber : (BPX, 2018)

#### **2.3.6.4** *Analisa Kestabilan Transient*

Analisa kestabilan *transient* pada ETAP digunakan untuk menginvestigasi batas stabilitas sistem tenaga pada saat sebelum, sesudah, maupun pada saat terjadi perubahan atau gangguan pada sistem. Pada sistem hibrid sangat mungkin terjadi ketidakstabilan, mengingat sumber tenaga listrik pada sistem lebih dari satu.

Gangguan pada sistem tenaga listrik dapat diklasifikasikan menjadi 2 kategori, yaitu gangguan kecil dan gangguan besar. Gangguan kecil merupakan satu dari elemen sistem dinamis yang dapat dianalisis menggunakan persamaan linear. Gangguan kecil yang biasanya terjadi adalah berupa perubahan beban pada sisi beban atau pembangkit secara acak, pelan dan bertingkat. Gangguan yang menghasilkan kejutan tiba-tiba pada tegangan bus adalah jenis gangguan besar. Apabila gangguan ini tidak segera diatasi akan memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap aliran daya pada sistem.

Untuk mengatasi ketidakstabilan ini ada beberapa hal yang dapat dilakukan pada desain sistem hibrid yaitu ; perubahan konfigurasi sistem, peningkatan performa sistem proteksi dan aplikasi *power sistem stabilizer*.

### 2.3.7 Analisa Ekonomi

Menurut Arsana (Arsana 2014) untuk menganalisis kelayakan finansial dari budidaya udang vannamei maka ada beberapa metode yang digunakan untuk menilai kelayakan seunit usaha yaitu :

#### 1) *Accounting Rate of Return* (ARR)

Untuk mengukur tingkat keuntungan dari seunit usaha maka dapat menggunakan metode ARR. Metode ini menggunakan laba setelah pajak, suatu usaha dikatakan layak apabila nilai ARR lebih besar dari keuntungan yang disyaratkan. Secara matematis ARR dapat ditulis sebagai berikut :

$$ARR = \frac{\text{Rata-rata EAT}}{\text{Rata-rata investasi}} \times 100\% \quad (3.4)$$

#### 2) *Net Present Value* (NPV)

NPV adalah selisih antara nilai sekarang dari *cashflow* dengan nilai sekarang dari investasi. Besarnya nilai NPV dapat dihitung dengan menghitung *present value* dari penerimaan atau *cashflow* dengan nilai *discount rate* tertentu. Apabila nilai NPV lebih besar dari nol maka usaha di nilai layak dilanjutkan. Nilai NPV dapat dihitung dengan rumus :

$$NPV = C_0 + \left( \frac{C_1}{(1+r)} \right) \quad (3.5)$$

Dimana,

$C_0$  = jumlah uang yang diinvestasikan

$C_1$  = uang yang akan diterima pada tahun ke 1

$r$  = *discount rate*

#### 3) *Payback Periode* (PP)

PP adalah waktu atau periode yang diperlukan untuk menutup kembali investasi yang telah dikeluarkan. Rumus untuk menghitung PP adalah :

$$PP = \frac{\text{Investasi}}{\text{Cashflow}} \times 1 \text{ tahun} \quad (3.6)$$

## BAB 3

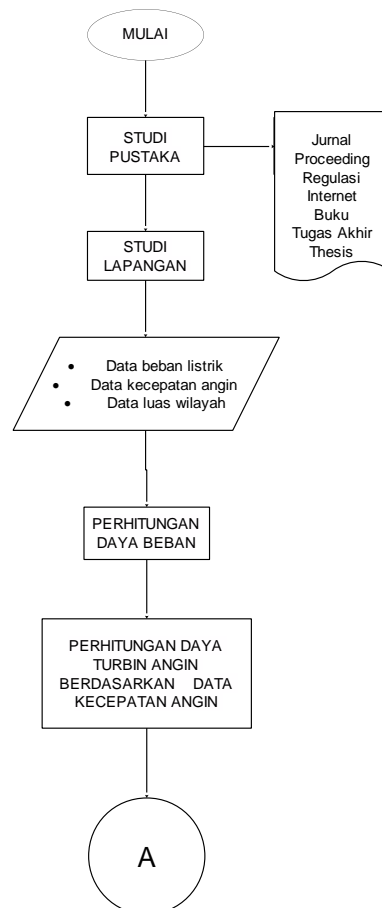
### METODOLOGI PENELITIAN

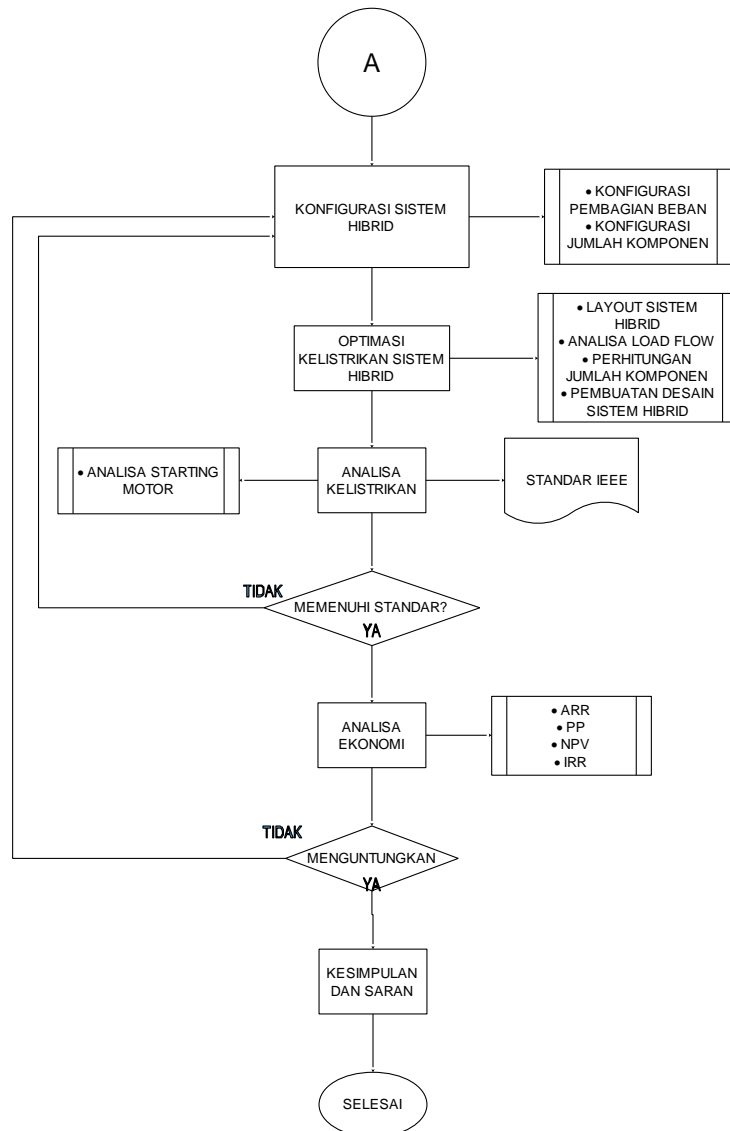
#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium *Marine Electrical and Automation System* (MEAS), Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penelitian akan dimulai pada bulan September tahun 2018.

#### 3.2 Tahapan Pengerjaan Penelitian

Dalam melakukan penelitian diperlukan pembuatan *flowchart* metode penelitian yang berfungsi untuk menjelaskan secara singkat alur atau proses penelitian yang dilakukan. Gambar 3. 1 *Flow Chart* metodologi penelitian menunjukkan alur pengerjaan penelitian.





Gambar 3. 1 *Flow Chart* metodologi penelitian

### 3.3 Studi Pustaka

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari tentang teori-teori dasar yang diangkat dalam penelitian ini. Dengan tujuan untuk mendapatkan pengetahuan dasar dan data dari penelitian-penelitian sebelumnya. Pada tahap ini dilakukan study terhadap referensi-referensi yang terdapat pada jurnal, *paper*, tugas akhir, internet, dan buku-buku materi penunjang lainnya. Pengumpulan berbagai macam referensi ini untuk memperkuat dasar teori mengenai dasar pemilihan panel surya dan turbin angin, serta desain sistem hibrid yang akan digunakan. Di samping itu



penulis juga ingin mengetahui sejauh mana penelitian mengenai sistem hibrid ini telah dilaksanakan.

Pada tahap ini penulis mengumpulkan beberapa referensi yang berhubungan dengan sistem hibrid dengan energi terbarukan yaitu energi surya dan energi angin. Referensi tersebut diperlukan untuk mencari dan membandingkan bagaimana desain sistem hibrid di buat dengan mempertimbangkan data cuaca dan kondisi lapangan dari objek penelitian.

### 3.4 Studi Lapangan

Studi lapangan akan dilakukan pada tambak udang di daerah Lombok Barat meliputi kondisi lokasi berdasarkan letak geografis dari tambak, letak geografis ini akan mempengaruhi jumlah intensitas cahaya matahari dan arah dari panel PV untuk menerima sinar matahari selain itu lokasi dari tambak akan mempengaruhi arah serta kecepatan angin yang dibutuhkan untuk memutar turbin.

Sebelum melakukan perhitungan daya panel surya dan turbin angin, terlebih dahulu menghitung luas area yang dapat digunakan sebagai tempat panel surya. Setelah dilakukan perhitungan luas area untuk panel surya, maka dilakukan perhitungan turbin angin berdasarkan data kondisi lapangan dari objek penelitian ini.

### 3.5 Perhitungan Daya Beban

Untuk menghitung daya beban yang akan dilayani oleh sistem hibrid, terlebih dahulu menginventarisasi peralatan listrik pada objek penelitian. Inventarisasi peralatan listrik dapat menggunakan Tabel 3. 1.

Tabel 3. 1 Data beban listrik

No	Nama Peralatan	Besarnya daya (watt)	Volume	Total (watt)	Lama penggunaan setiap hari (Jam/H)	Energi (WH)
1						
2						
Jumlah total						

### 3.6 Perhitungan Daya Turbin Angin

Daya yang dihasilkan turbin angin tergantung dari besarnya kecepatan angin di daerah tersebut. Kecepatan angin dilakukan dengan menggunakan anemometer yang dipasang pada tiang dengan ketinggian 2 m. Pengambilan data dilakukan tiap 4 jam sekali dengan mengatur kecepatan rata-rata pada anemometer kemudian mengisi tabel kecepatan angin seperti pada Tabel 3. 2.

Tabel 3. 2 Contoh tabel pengambilan data kecepatan angin

Tanggal	Jam					
	06.00-10.00	10.00-14.00	14.00-18.00	18.00-22.00	22.00-02.00	02.00-06.00
	V	V	V	V	V	V

### 3.7 Konfigurasi Pembagian Beban

Setelah dilakukan perhitungan daya turbin angin, langkah selanjutnya adalah melakukan konfigurasi pembagian beban listrik di mana beban listrik akan dibagi berdasarkan jumlah jam kerja dengan mengisi tabel pembagian jam kerja seperti Tabel 3. 3. Pembagian beban ini dilakukan karena tidak semua peralatan bekerja setiap 24 jam dan jumlah beban. Konfigurasi ini adalah untuk memudahkan perhitungan jumlah komponen yang dibutuhkan.

Tabel 3. 3 Contoh tabel pembagian jam kerja beban

Hari/Tanggal	Jam Kerja								
	06.00-07.00	07.00-08.00	08.00-09.00	09.00-10.00	10.00-11.00	11.00-12.00	12.00-13.00	14.00-15.00	Dst...
Beban 1									

### 3.8 Optimasi Sistem Hibrid

Pada beban dengan jenis beban induksi akan terjadi daya reaktif ( $Q$ ) yang akan mempengaruhi daya besarnya daya semu ( $S$ ). Daya semu ini akan mempengaruhi jumlah komponen yang akan menyuplai energi listrik pada beban. Untuk melakukan optimasi terlebih dahulu dilakukan analisa aliran daya dengan menggunakan *software* ETAP.



Gambar 3. 2 Logo *software* ETAP 12

Simulasi aliran daya digunakan untuk mengetahui bagaimana aliran daya dari sebuah sistem kelistrikan sekaligus dapat mengetahui besarnya daya reaktif yang timbul dari beban induktif.

### 3.9 Analisa Kelistrikan

Desain sistem hibrid yang telah dibuat kemudian akan dilakukan analisa kelistrikan untuk melihat bagaimana kinerja dari desain sistem hibrid tersebut. Adapun analisa yang akan dilakukan adalah :

#### 3.9.1 *Starting Motor Analysis*

Analisa digunakan untuk mengetahui besarnya arus *starting* yang mengalir pada beban motor listrik. Besarnya arus listrik yang meningkat lebih dari empat kali arus kerja akan membuat terjadinya drop tegangan listrik. Dengan analisa ini, dapat diketahui besarnya kebutuhan jumlah komponen yang dibutuhkan pada waktu *starting*.

### 3.10 Analisa Ekonomi

Analisa ekonomi ini dimaksudkan untuk menghitung besarnya investasi yang dibutuhkan untuk membangun sistem hibrid energi surya dan angin sekaligus menghitung lamanya pengembalian modal dan besarnya keuntungan yang diperoleh.

Analisa ekonomi dilakukan dengan menggunakan metode *Accounting Rate Of Return* (ARR), *payback periode* (PP), *Net Present Value* (NPV), dan Internal Rate Of Return (IRR).

## BAB 4

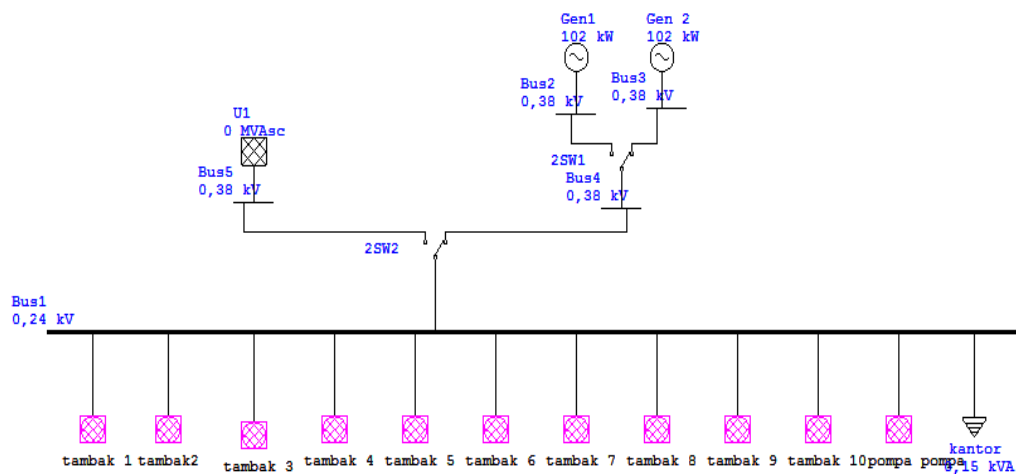
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Sistem Kelistrikan Pada Tambak

Sistem kelistrikan pada tambak milik MSA *Farm* menggunakan sumber listrik yang berasal dari jaringan listrik (*Grid*) dari Perusahaan Listrik Negara (PLN). Energi listrik digunakan untuk mengoperasikan peralatan listrik untuk operasional tambak seperti kincir, pompa, dan penerangan serta peralatan lain yang mendukung operasional tambak.

##### 4.1.1 Single Line Diagram Kelistrikan Tambak

Tambak udang menggunakan energi listrik yang bersumber dari jaringan dengan kapasitas daya 200 KVA dan menggunakan 2 unit diesel generator sebagai *back up* jika listrik dari jaringan padam atau *spaning*. Diagram kelistrikan dari tambak dapat dilihat pada Gambar 4. 1.



Gambar 4. 1 *Single line* diagram kelistrikan pada tambak

Tambak yang ditunjukkan pada Gambar 4. 2 terdiri dari 6 unit motor listrik yang digunakan untuk menggerakkan kincir air, sedangkan *common load* adalah beban listrik yang terdiri dari lampu penerangan tambak, rumah jaga dan kantor.

##### 4.1.2 Perhitungan Daya Beban

Untuk menghitung besarnya daya yang dibutuhkan oleh beban listrik pada tambak dilakukan dengan menginventarisasi jumlah peralatan, besarnya daya dan

lama penggunaan (jam kerja) dari peralatan tersebut. Besarnya total daya beban pada tambak dapat dilihat pada Tabel 4. 1.

Tabel 4. 1 Data beban listrik pada tambak

No.	Nama	FLA	Eff (%)	PF	Voltage	Watt	Volume	Total
1	Kincir	2,2	66,1	81,1	380,0	1.173,7	60,0	70.424,7
2	Root Blower	2,2	66,1	81,1	380,0	1.173,7	4,0	4.695,0
3	Pompa Air Laut	40,8	88,7	88,7	380,0	23.821,9	4,0	95.287,7
4	Pompa Air Tawar	13,1	85,8	85,8	380,0	7.399,5	2,0	14.799,1
5	Kantor Dan Mess	3,947	100,0	100,0	380,0	1.500	1,0	1.500
Total								186.706,5

Dari Tabel 4. 1 dapat dihitung jumlah energi yang dibutuhkan setiap peralatan listrik. Sebagian besar peralatan listrik yang digunakan hanya digunakan dalam satu siklus produksi (3 bulan). Besarnya energi listrik yang digunakan dalam waktu 1 tahun dapat dilihat pada Tabel 4. 2.

Pada tabel 4.2 dapat diketahui bahwa besarnya energi listrik terbesar yang dibutuhkan beban adalah pada bulan Januari dimana total energi yang dibutuhkan adalah 53.823 KWh perbulan dan 1.736.214,806 Wh perhari.

## 4.2 Perhitungan Daya Turbin Angin

### 4.2.1 Data Kecepatan Angin

Untuk menghitung besarnya energi angin yang dibutuhkan untuk menggerakkan turbin angin yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik adalah dengan menggunakan data angin di lokasi penelitian. Data kecepatan angin di lokasi penelitian dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4. 2 Data energi beban dalam 1 tahun

No.	Nama	Daya	Bulan												Total Energi (WH/year)
			Jan	Feb	Apr	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des	
		Total	Jam	Jam	Jam	Jam	Jam	Jam	Jam	Jam	Jam	Jam	Jam	Jam	
1	Kincir	70.425	720	720	744		720	720	744		696	744	720		490.296.478
2	Root Blower	4.695	248	240	248		248	240	248		240	248	240		11.775.003
3	Pompa Air Laut	95.288	8				8				8				4.002.084
4	Pompa Air Tawar	14.799	5				5				5				399.575
5	Kantor Dan Mess	1.500	744	720	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	14.112.000
	Total														507.897.335

Tabel 4. 3 Data kecepatan angin

Parameter	06.00-10.00	10.00-15.00	15.00-06.00
Rata Rata (m/s)	4,39	4,6	1,7
Max (m/s)	6,4	7,6	4,2
Min (m/s)	2,3	2,4	0,1
Standar Deviasi	0,77	1,1	0,92
Parameter Bentuk (K)	6,66	4,8	1,94
Parameter Skala (C)	4,71	5,06	1,93

Dari tabel 4.3 dapat dilihat bahwa nilai parameter bentuk pada pukul 06.00-10.00 adalah 6,66, pada pukul 10.00-14.00 adalah 4,8 , sedangkan pada pukul 14.00-18.00 adalah 1,94. Parameter bentuk dengan nilai sama atau lebih dari 3 ( $K \geq 3$ ) menandakan bahwa karakteristik angin tersebut bersikap reguler, sehingga berdasarkan data angin pada tabel 4.3 maka sumber energi angin yang dapat dimanfaatkan adalah pada pukul 06.00 sampai dengan pukul 15.00.

#### 4.2.2 Penentuan Jenis Turbin

Untuk menentukan jenis turbin angin, terlebih dahulu melihat karakteristik daya dari turbin yang tersedia dan disesuaikan dengan kecepatan angin yang tersedia dengan melihat data angin. Dari data angin dapat dilihat bahwa probabilitas kecepatan angin yang paling banyak adalah angin dengan kecepatan antara 4 sampai 5 m/s.

Berdasarkan data daya dan kecepatan angin berbagai tipe turbin angin , jenis turbin yang akan digunakan adalah turbin angin daya rendah dengan 3 unit bilah dengan diameter rotor 2,5 meter dengan ketinggian tower <15 m. Turbin angin jenis ini memiliki *start up* angin dengan kecepatan rendah (2 m/s) dan memiliki *Coefficient power* lebih baik dibandingkan dengan jenis turbin angin lainnya. Turbin yang digunakan adalah turbin dengan daya rendah karena jenis turbin ini mampu membangkitkan daya dengan kecepatan angin yang rendah.

Besarnya daya yang dapat di bangkitkan oleh turbin angin dapat dihitung dengan menggunakan rumus

$$P = \frac{1}{2} A \rho V^3 C_p \quad (4.7)$$

Di mana :

A= luas area dari rotor (m<sup>2</sup>)



$\rho$  = densitas udara ( $\text{kg/m}^3$ )

$V$  = kecepatan angin

$C_p$  = koefisien daya, secara teoritis besarnya  $C_p$  adalah 0,59

Untuk menghitung besarnya densitas udara pada ketinggian tertentu dapat menggunakan formula berikut

$$\rho = \rho^0 - (1,194 \times 10^{-4} H_m) \quad (4.8)$$

Di mana

$\rho^0$  = referensi densitas udara pada permukaan laut ( $1,225 \text{ kg/m}^3$ )

$H_m$  = ketinggian lokasi

Densitas udara pada lokasi tambak adalah :

$$\begin{aligned} \rho &= 1,225 - (1,194 \times 10^{-4} \times 5 \text{ m}) \\ &= 1,2244 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 4.3 dan formula 4.7, 4.8 dan 4.9 didapatkan daya yang dibangkitkan oleh turbin angin yang ditunjukkan pada tabel 4.4

Tabel 4. 4 Daya turbin angin pada jam tertentu

Jam	Kecepatan angin rata-rata (m/s)	Daya (Watt)
06.00-10.00	3,51	150,65
10.00-15.00	3,64	164

### 4.3 Konfigurasi Sistem Hibrid

#### 4.3.1 Konfigurasi Jam Operasi Sumber Energi Listrik

Konfigurasi jam operasi sumber energi listrik pada sistem hibrid dapat dilakukan dengan memperhitungkan jam kerja sumber energi terbarukan yaitu panel PV bekerja pada jam 10.00 s/d jam 15.00 sedangkan turbin angin bekerja pada jam 06.00 s/d jam 15.00 seperti ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4. 5 pembagian jam kerja sumber energi listrik

No	Sumber energi	Jam kerja
1	PLN	15.00-06.00
2	Turbin angin	06.00-15.00
3	Panel PV	10.00-15.00

PLN atau *grid* menyuplai energi listrik dari pukul 15.00-06.00, hal ini disebabkan pada pukul 15.00-06.00 sumber energi terbarukan yaitu energi surya tidak tersedia dan energi angin sangat rendah.

#### 4.3.2 Pembagian Daya Beban

Sebelum melakukan konfigurasi pembagian beban terlebih dahulu menghitung besarnya daya maksimal yang terjadi dalam satu hari pada tambak. Tabel 4.6 menunjukkan besarnya daya beban pada pada jam tertentu dalam 1 hari.

Tabel 4. 6 Daya beban pada jam tertentu dalam 1 hari

Hari ke	Jam																									
	00.00-01.00	01.00-02.00	02.00-03.00	03.00-04.00	04.00-05.00	05.00-06.00	06.00-07.00	07.00-08.00	08.00-09.00	09.00-10.00	10.00-11.00	11.00-12.00	12.00-13.00	13.00-14.00	14.00-15.00	15.00-16.00	16.00-17.00	17.00-18.00	18.00-19.00	19.00-20.00	20.00-21.00	21.00-22.00	22.00-23.00	23.00-24.00	24.00-00.00	
1																										
2-31'																										

	Pompa air laut	95.288 Watt
	Pompa air tawar	14.799 Watt
	Root blower	4.539 Watt
	Kantor dan mess karyawan	1.500 Watt
	Kincir	70.425 Watt

Tabel 4.6 menunjukkan, besarnya daya beban maksimal adalah pada saat pompa air laut dan kantor beroperasi yaitu sebesar 96.788 Watt. Besarnya Energi maksimal yang dibutuhkan beban adalah pada saat kincir, *root blower* dan kantor beroperasi yaitu sebesar 1.389.270 Wh. Besarnya daya listrik dan energi listrik yang dibutuhkan peralatan listrik menurut jam operasinya dapat dilihat pada Tabel 4. 7.

Dari Tabel 4. 2 dapat diketahui bahwa energi beban terbesar dalam satu hari yaitu 1.748.895 Wh pada hari ke 2 sampai dengan hari ke31.

Dari Tabel 4. 7 kemudian dilakukan pembagian waktu untuk mempermudah perhitungan jumlah komponen.

Tabel 4. 7 Jumlah energi beban dalam 1 hari

Hari ke	Peralatan	Jam																								Energi
		06.00-07.00	07.00-08.00	08.00-09.00	09.00-10.00	10.00-11.00	11.00-12.00	12.00-13.00	13.00-14.00	14.00-15.00	15.00-16.00	16.00-17.00	17.00-18.00	18.00-19.00	19.00-20.00	20.00-21.00	21.00-22.00	22.00-23.00	23.00-24.00	24.00-01.00	01.00-02.00	02.00-03.00	03.00-04.00	04.00-05.00	05.00-06.00	
1	pompa air laut											95.288	95.288	95.288	95.288	95.288	95.288	95.288	95.288							762.302
	pompa air tawar			14.799	14.799	14.799	14.799	14.799	14.799																	88.795
	kantor	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	36.000
2-31'	kincir	70.425	70.425	70.425	70.425	70.425	70.425	70.425	70.425	70.425	70.425	70.425	70.425	70.425	70.425	70.425	70.425	70.425	70.425	70.425	70.425	70.425	70.425	70.425	70.425	1.690.200
	root blower	4.539	4.539	4.539	4.539	4.539																				22.695
	kantor	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	36.000

Jika beban dilayani oleh lebih dari 1 pembangkit listrik (sumber daya listrik) maka besarnya daya listrik yang dibutuhkan beban akan dibagi sama rata ke masing-masing pembangkit seperti ditunjukkan pada formula berikut

$$Pb = P1 + P2 + P3 + \dots Pn \quad (4.1)$$

Dimana :  $P1 = P2 = P3 = Pn$

Besarnya daya beban terbesar dengan waktu operasi sumber energi terbarukan (surya dan angin) adalah sebesar 76 KW yaitu pada saat kincir, *root blower* dan kantor/mess. Jika besarnya daya beban sebesar 76 KW dibagi 3 sumber daya listrik maka masing-masing akan menerima daya beban sebesar 25,33 KW. Daya maksimal yang dapat dihasilkan turbin angin adalah sebesar 7,5 KW untuk jam 10-15 dan 6 KW untuk jam 06.00-10.00, sehingga turbin angin tidak dapat melayani daya beban sebesar 25,33 KW. Turbin angin hanya dapat digunakan untuk melayani 1 petak tambak (1 petak tambak dilayani oleh 6 unit kincir dengan total daya 7 KW). Pembagian beban listrik untuk sistem hibrid dapat dilihat pada Tabel 4. 8.

Tabel 4. 8 Pembagian daya beban listrik hari ke 1

Beban	Total daya	06.00-10.00			10.00-15.00			15.00-06.00
		Turbin angin	Panel PV	Grid	Turbin angin	Panel PV	Grid	Grid
4 unit Pompa air laut	95 KW							95 KW
2 unit Pompa air tawar	15 KW			15 KW			15 KW	
Kantor	1,5 KW	1,5 KW			0,75 KW	0,75 KW		1,5 KW

Tabel 4. 9 Pembagian daya beban listrik hari ke 2-31

Beban	Total daya	06.00-10.00			10.00-15.00			15.00-06.00
		Turbin angin	Panel PV	Grid	Turbin angin	Panel PV	Grid	Grid
1 Tambak (6 unit kincir)	7 KW	7 KW			7 KW			7 KW
9 Tambak (54 unit kincir)	64 KW			64 KW		64 KW		64 KW
2 unit Root blower	4,5 KW			4,5 KW		4,5 KW		
Kantor	1,5 KW			1,5 KW		1,5 KW		1,5 KW

Jumlah energi listrik yang bersumber dari *grid* yang bisa dikurangi dengan penggunaan sumber energi terbarukan (energi surya dan angin) dapat dihitung dengan mengalkulasikan jumlah jam operasi masing-masing peralatan dengan daya listrik yang dibutuhkan atau secara matematis dapat ditulis dengan Formula 4.2.

$$J = P \times t \quad (4.2)$$

Dimana J dalam satuan Kilo Watt Hour (KWh)

Untuk mempermudah perhitungan dari jumlah energi yang dibutuhkan beban, maka pembagian kebutuhan energi akan dibagi menurut jam operasi dari peralatan akan dibagi menjadi 3 kelompok yaitu pada pukul 06.00-10.00, 10.00-15.00, dan 15.00-06.00 (sesuai dengan pembagian jam operasi sumber energi listrik

#### 4.3.3 Jumlah Energi Beban

Pada desain sistem yang dibuat jumlah turbin angin yang dibutuhkan pada sistem hibrid yang didesain dibatasi menjadi 50 unit, pembatasan ini berdasarkan luas area dari objek penelitian yang dapat digunakan sebagai lokasi penempatan turbin dan jarak optimal dari penempatan turbin. Jumlah panel PV yang dibutuhkan dari sistem desain yang dibuat dapat dihitung dengan formula berikut :

$$N_{Panel\ PV} = \frac{\left(\frac{P\ beban\ puncak}{P\ Panel\ PV}\right)}{Efisiensi\ panel\ PV} \quad (4.9)$$

Ukuran panel PV yang digunakan dalam desain sistem hibrid ini adalah panel PV dengan daya 240 WP, daya beban listrik terbesar yang menggunakan panel PV sebagai sumber daya listriknya adalah pada saat kincir, *root blower* dan kantor beroperasi dengan total daya 70 KW.

*Inverter* yang digunakan adalah berjumlah 10 unit, hal ini dimaksudkan untuk menjaga keberlangsungan suplai daya jika salah satu *inverter* tidak dapat beroperasi atau rusak, sistem masih dapat bekerja. Daya 1 unit *inverter* yang digunakan adalah 7 KW maka dari formula 4.9 dapat diketahui jumlah panel PV yang dibutuhkan untuk menyuplai 1 unit *inverter* adalah :

$$N_{panel\ PV} = \frac{\left(\frac{7\ KW}{240\ WP}\right)}{90\%}$$

$$= 33\ unit$$

Berdasarkan Tabel 4.7, 4.8, dan 4.9, besarnya energi beban akan dibagi menurut sumber daya listrik yang tersedia pada jam operasinya. Pembagian ini dimaksudkan untuk melihat besarnya energi listrik yang di layani oleh masing-masing sumber energi listrik. Tabel 4.10 dan Tabel 4.11 menunjukkan besarnya energi beban berdasarkan sumber daya listrik yang tersedia pada jam operasinya.

Tabel 4. 10 Energi beban pada hari ke 1

Jam	Jumlah energi beban	Turbin angin	Panel PV	Grid
06.00-10.00	36 KWh	6 KWh	-	30 KWh
10.00-15.00	67,5 KWh	7,5 KWH		60 KWh
15.00-06.00	782,5 KWh	-	-	782,5 KWh

Total energi beban pada hari ke 1 adalah sebesar 886 KWh

Tabel 4. 11 Energi beban pada hari ke 2-31

Jam	Jumlah energi beban	Turbin angin	Panel PV	Grid
06.00-10.00	308 KWh	28 KWh	-	280 KWh
10.00-15.00	371,5 KWh	35 KWh	336,5 KWh	
15.00-06.00	1.087,5 KWh	-	-	1.087,5 KWh

Total energi beban pada hari ke 2-31 adalah sebesar 1.770 KWh

Dari Tabel 4. 10 dan Tabel 4. 11 dapat diketahui jumlah energi listrik dari PLN yang dapat dihemat seperti ditunjukkan pada tabel 4.12 berikut.

Tabel 4. 12 Jumlah energi listrik dari *grid* yang dapat dihemat

Hari Ke	Energi (KWh)	PLN (KWh)	EBT (KWh)
1	886	848,5	13,5
2-31	1.767	1.367,5	399,5

Harga listrik per KWH untuk LWBP (lewat waktu beban puncak) jam 22.00 sampai dengan jam 17.00 adalah Rp 972,- dan WBP (waktu beban puncak) jam 17.00 sampai dengan jam 22.00 adalah Rp 1.458,-. Jika tambak beroperasi dengan menggunakan listrik dari PLN secara penuh maka biaya listrik yang harus dikeluarkan dapat dilihat pada Tabel 4. 13.

Tabel 4. 13 Biaya tagihan listrik (*Full grid*)

Hari ke 1	LWBP (22.00-17.00)	13,5	Rp 13.122,-
	WBP (17.00-22.00)	848,5	Rp 1.237.113,-
Hari ke 2-31	LWBP (22.00-17.00)	399,5	Rp 388.314,-
	WBP (17.00-22.00)	1367,5	Rp 1.993.815,-

Biaya tagihan listrik yang harus dikeluarkan dalam 1 bulan adalah :

$$\text{Rp. } 1.250.235 + (2.382.129 \times 30\text{hari}) = \text{Rp}72.714.123$$

Biaya tagihan listrik dari PLN yang dapat dihemat jika menggunakan sistem hibrid ditunjukkan pada tabel Tabel 4. 14.

Tabel 4. 14 Biaya tagihan listrik dalam 1 hari yang dapat dihemat

Hari ke 1	LWBP (22.00-17.00)	13,5 KWH	Rp 13.122,-
	WBP (17.00-22.00)	-	-
Hari ke 2-31	LWBP (22.00-17.00)	399,5 KWH	Rp 388.314,-
	WBP (17.00-22.00)	-	-

Biaya listrik yang dapat dihemat dalam 1 bulan adalah :

$$\text{Rp}36.450 + (\text{Rp}388.314 \times 30\text{hari}) = \text{Rp}11.662.542, -$$

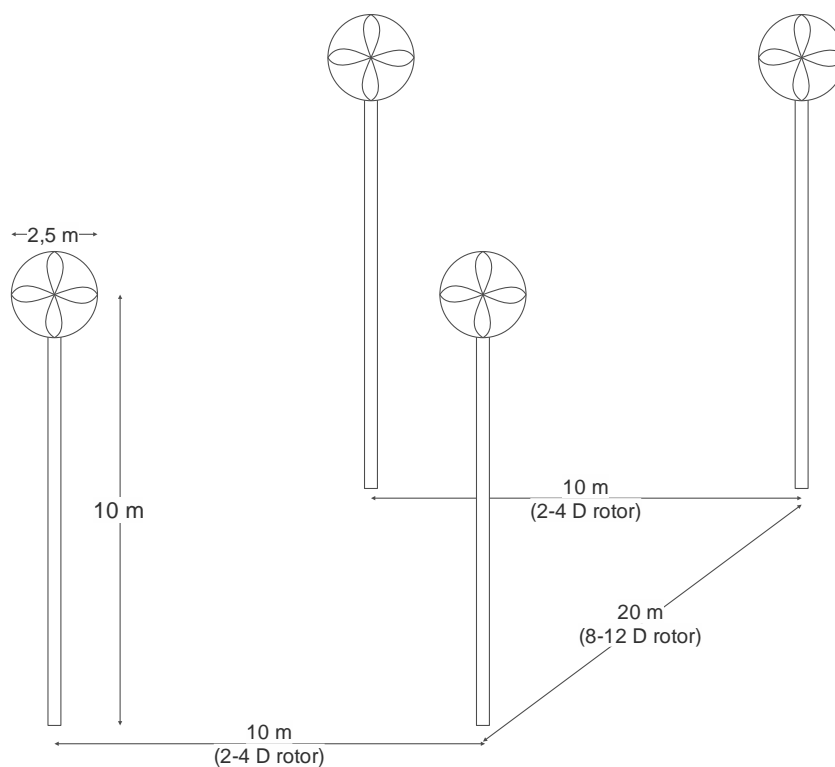
## 4.4 Optimisasi Kelistrikan Sistem Hibrid

### 4.4.1 Lay out Sistem Hibrid

Sebelum melakukan optimasi sistem hibrid terlebih dahulu membuat rancangan desain sistem hibrid pada lokasi tambak. Untuk penempatan turbin angin, ada beberapa hal yang dipertimbangkan yaitu :

- 1) Jarak antara tambak dengan pagar pembatas pantai 30 meter
- 2) Jarak antara turbin angin adalah  $2 \times \text{diameter rotor}$  untuk sebelah kanan dan kiri
- 3) Jarak antara depan dan belakang antara turbin adalah  $8 \times \text{diameter rotor}$ .

Dari pertimbangan tersebut maka dapat diperoleh jarak optimal antar turbin angin yang ditunjukkan pada Gambar 4. 2.



Gambar 4. 2 Jarak optimal penempatan turbun angin

Karena diameter rotor yang digunakan adalah 2,5 m maka jarak antara samping kanan dan kiri turbin adalah 10 m ( $2-4 D$  rotor) dan jarak antar depan dan belakang turbin adalah 20 m ( $8-12 D$  rotor). Turbin angin dipasang di sekitar area tambak dengan pembagian 34 unit di sebelah barat laut area tambak (berbatasan



dengan garis pantai) dan 16 unit di sebelah tenggara . untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 4. 3.

Panel PV ditempatkan pada pematang seperti ditunjukkan pada Gambar 4. 5 dengan dudukan (*mounting*) dari panel PV dapat dilihat pada Gambar 4. 4.

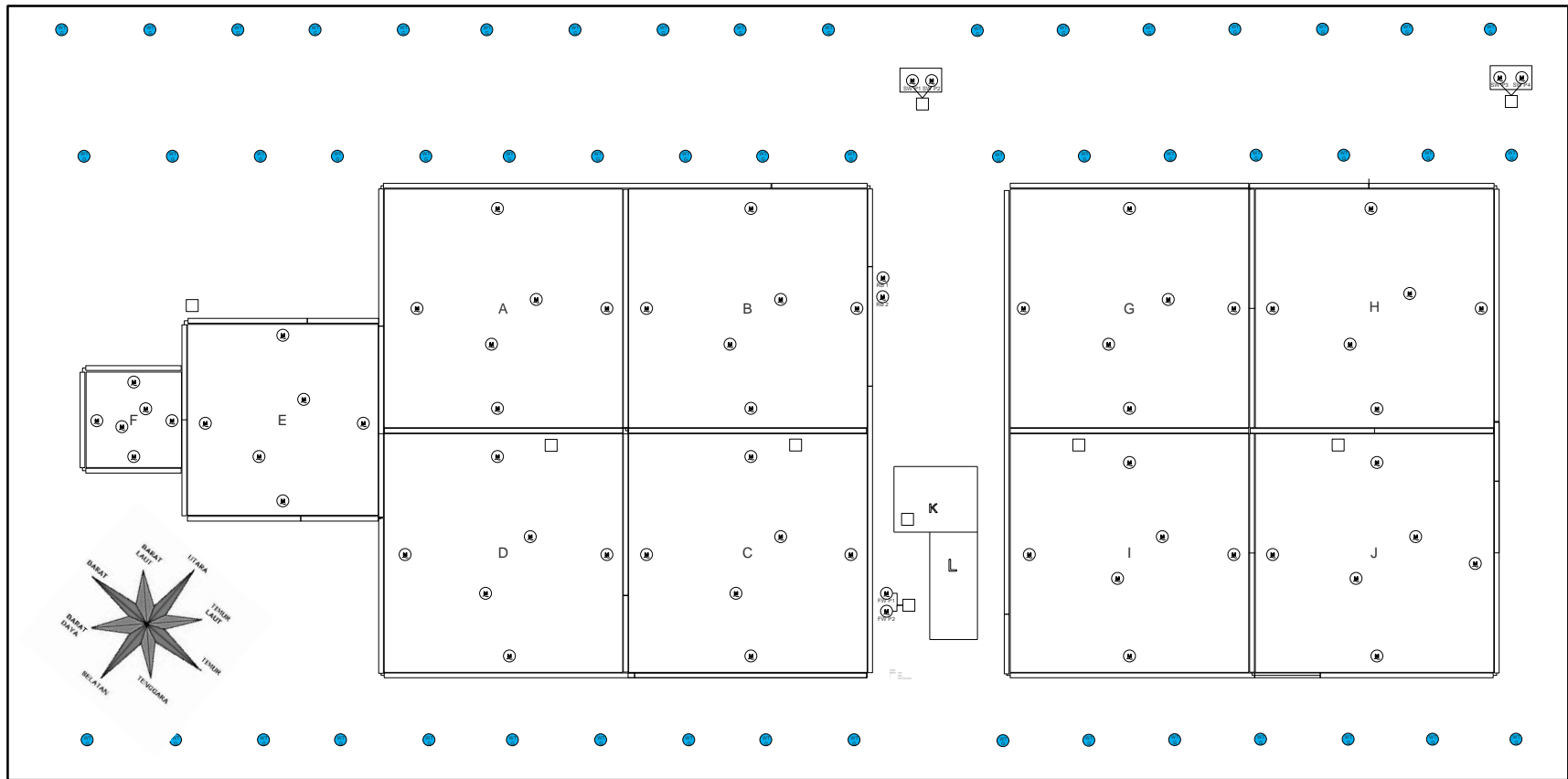
#### 4.4.2 Analisa Load Flow

Analisa *load flow* adalah analisa untuk mengetahui karakteristik aliran daya dari sistem sebagai akibat variasi dan karakteristik dari beban. Pada tambak *MSA farm*, sebagian besar beban adalah beban induktif berupa motor-motor listrik. Beban induktif mempunyai *power factor* (PF) sebagai akibat dari adanya daya reaktif yang timbul pada beban induktif.

Analisa *load flow* dibagi menjadi 7 case, dimana tiap case adalah kondisi dimana beban dilayani oleh sumber daya listrik pada waktu tertentu. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 4. 15.

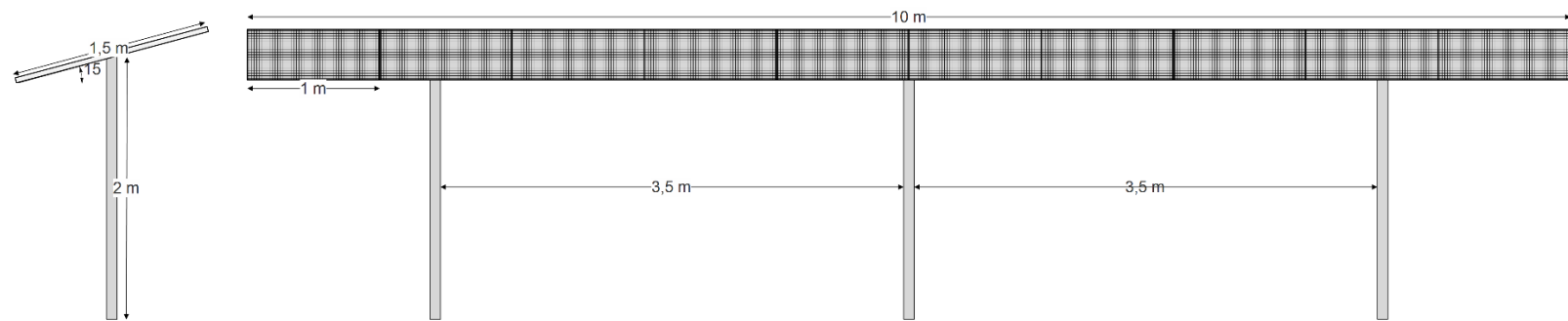
Tabel 4. 15 Case untuk analisa *load flow*

Case	Hari ke	Jam operasi	Beban	Sumber daya listrik
1	1	06.00-15.00	Kantor/mess	Turbin angin
2	1	08.00-10.00	Pompa air tawar	<i>Grid</i>
3	1	16.00-24.00	Pompa air laut	Grid
4	2-31	06.00-15.00	Kincir (6 unit/1 tambak)	Turbin angin
5	2-31	06.00-10.00	Kincir (54 unit), root blower, kantor/mess	<i>Grid</i>
6	2-31	10.00-15.00	Kincir (54 unit), kantor/mess	Panel PV
7	2-31	15.00-06.00	Kincir (60 unit), kantor/mess	<i>Grid</i>

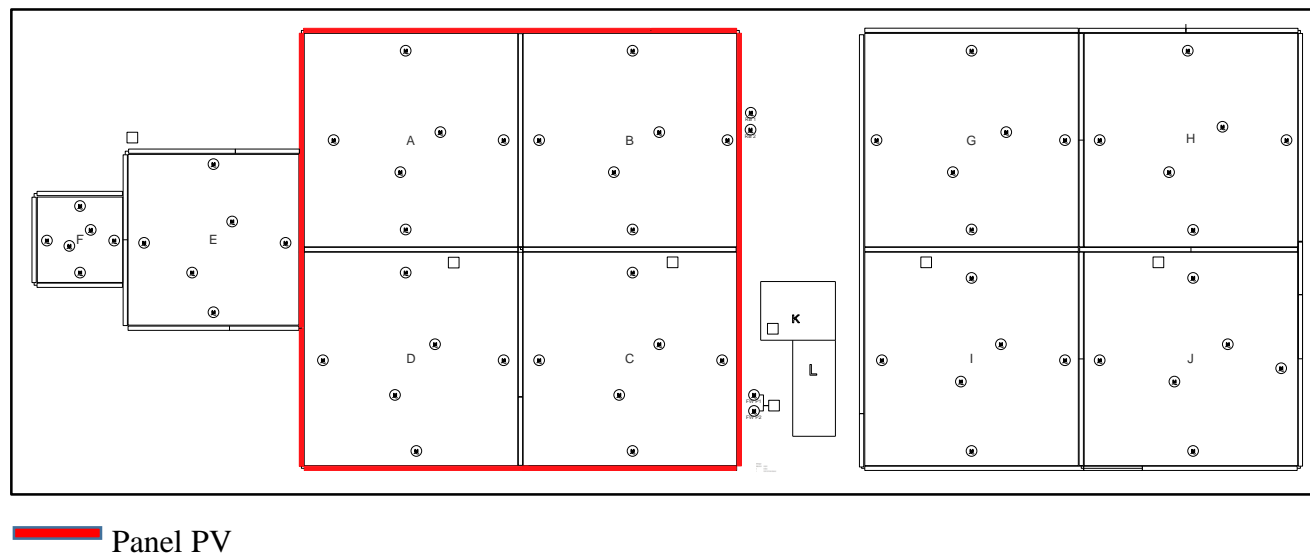


● Turbin angin

Gambar 4. 3 *Layout* penempatan turbin angin



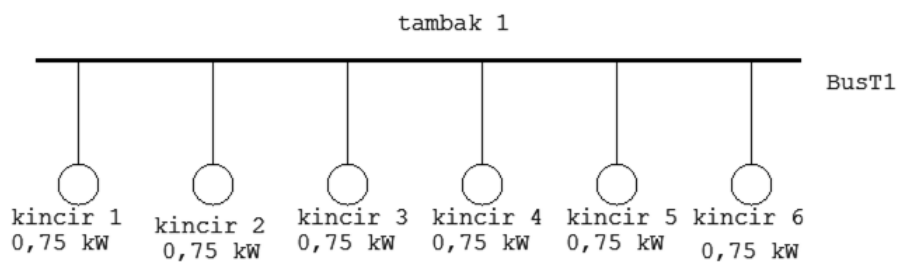
Gambar 4. 4 *mounting panel PV*



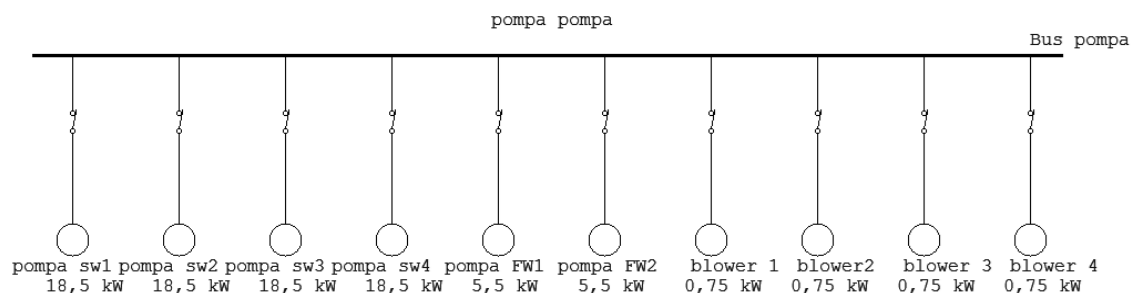
Gambar 4. 5 *Layout Penempatan Panel PV*

Sebelum melakukan analisa *load flow*, terlebih dahulu membuat desain sistem hibrid pada *software* ETAP . gambar 4.6 menunjukkan desain sistem hibrid yang dibuat dimana sistem hibrid terdiri dari 3 jenis sumber daya listrik yang akan melayani beban yang terdiri dari 10 buah tambak yang digambarkan dengan *composit network* dimana 1 *composit network* terdiri dari 6 buah motor listrik yang digunakan untuk menggerakkan kincir seperti ditunjukkan pada Gambar 4. 7, *composit network* dari pompa-pompa yang terdiri dari 4 buah pompa air laut, 2 buah pompa air tawar dan 4 buah root blower seperti ditunjukkan pada Gambar 4. 8, root blower dan kantor/mess.

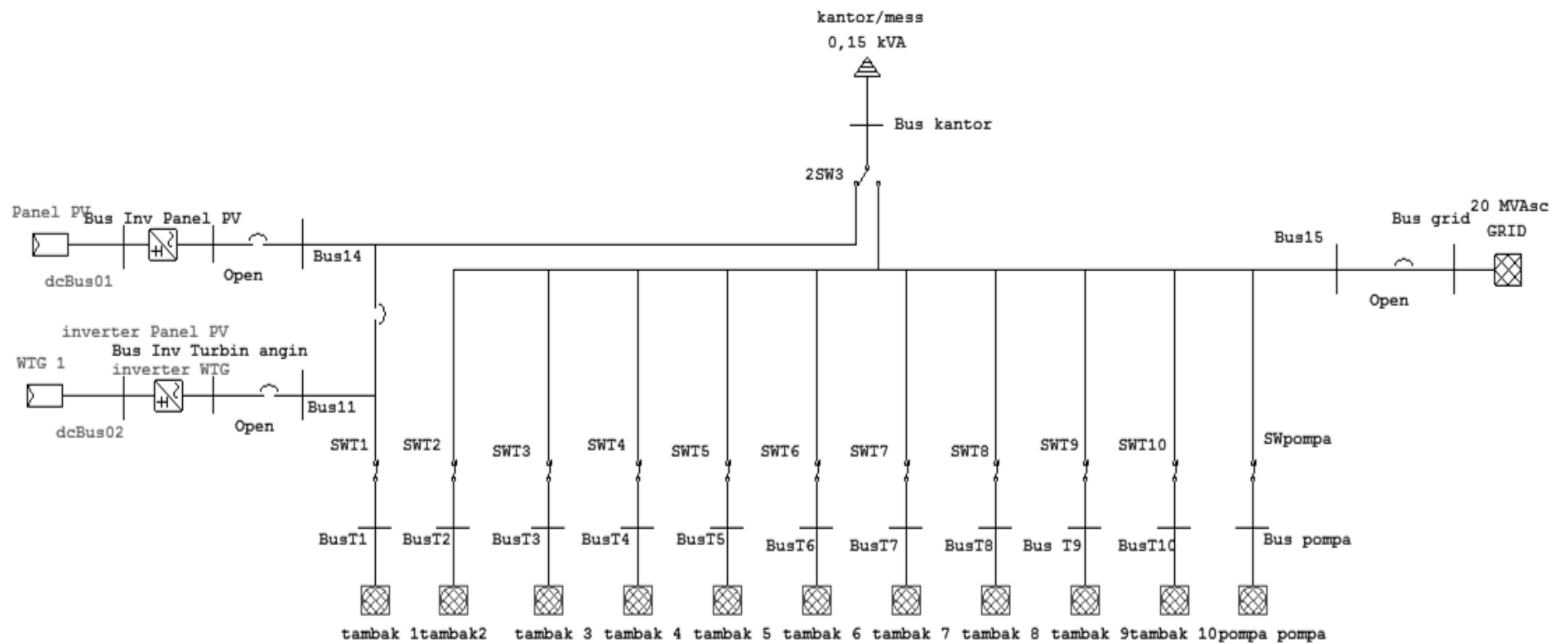
Untuk melakukan analisa *load flow*, cukup dengan mengaktifkan komponen dari sistem hibrid yang bekerja dan mengaktifkan *breaker* yang menghubungkan tiap sumber daya listrik .



Gambar 4. 6 *Composit network* dari tambak



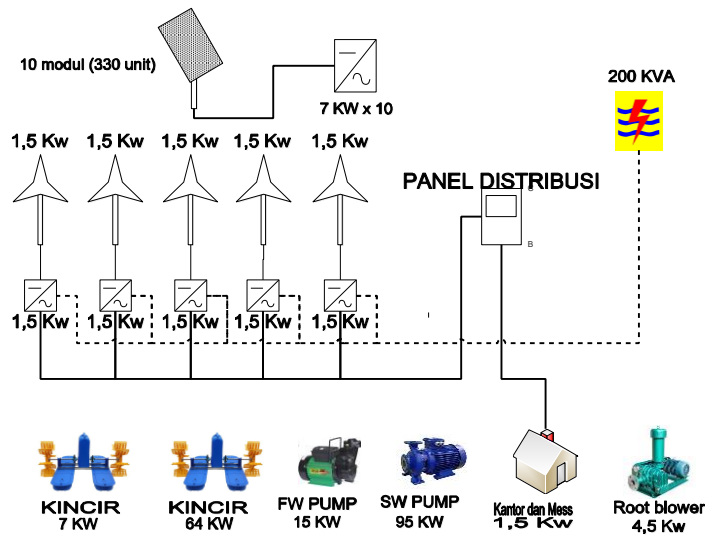
Gambar 4. 7 *Composit network* dari pompa



Gambar 4. 8 *Single line diagram* sistem hibrid

#### 4.4.2.1 Case 1 (06.00-15.00) hari ke 1

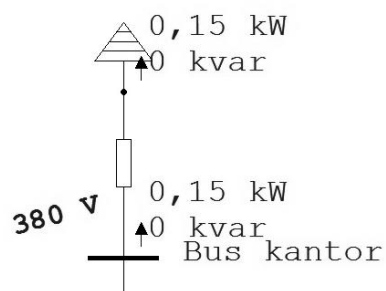
Pada *case 1* beban yang beroperasi adalah kantor/mess dengan total daya 1,5 KW yang beroperasi selama 4 jam dengan sumber daya listrik yang digunakan untuk melayani beban adalah turbin angin. Gambar 4. 9 menunjukkan diagram kerja dari *case 1*.



Gambar 4. 9 Diagram kerja *case 1*(06.00-10.00)

Garis putus-putus pada Gambar 4. 9 menunjukkan arus listrik dari *grid* menuju *inverter* yang digunakan sebagai standar penyesuaian agar tegangan dan frekuensi yang dihasilkan setiap *inverter* sama.

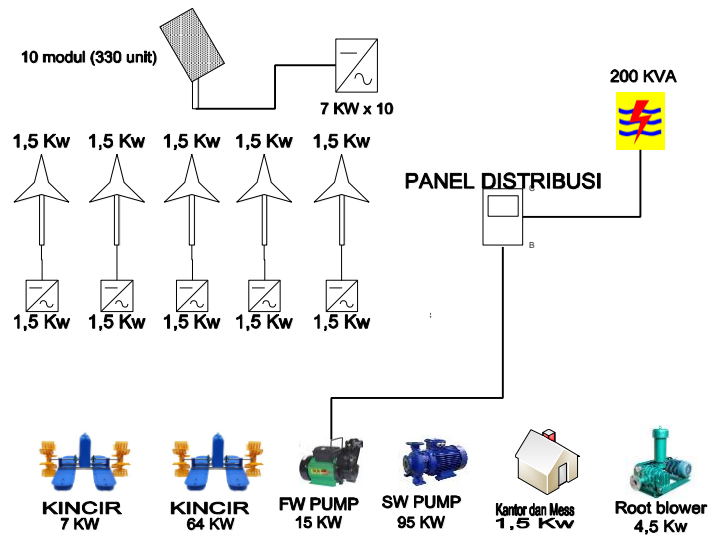
Gambar 4. 10 menunjukkan hasil simulasi dimana didapatkan bahwa besarnya daya yang dibutuhkan beban adalah sebesar 0,15 KW



Gambar 4. 10 Aliran daya pada kantor/mess

#### 4.4.2.2 Case 2 (08.00-14.00) hari ke 1

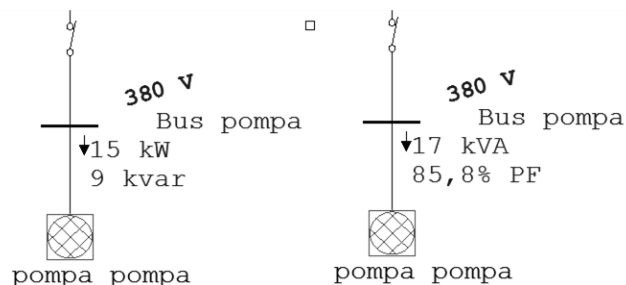
Sumber daya listrik yang digunakan pada *case 2* adalah *grid*. Pada *case* ini beban yang beroperasi adalah pompa air tawar dengan total daya dibutuhkan adalah sebesar 15 KW. Diagram kerja pada *case 2* dapat dilihat pada Gambar 4. 11.



Gambar 4. 11 Diagram kerja *case 2* (08.00-11.00)

Pada *case 2* sumber daya listrik yang digunakan adalah *grid*, hal ini disebabkan daya yang dibangkitkan tidak dapat melayani air tawar karena memiliki daya sebesar 15 KW yang tidak mampu dilayani oleh turbin angin (turbin angin hanya mampu menghasilkan daya sebesar 7,5 KW).

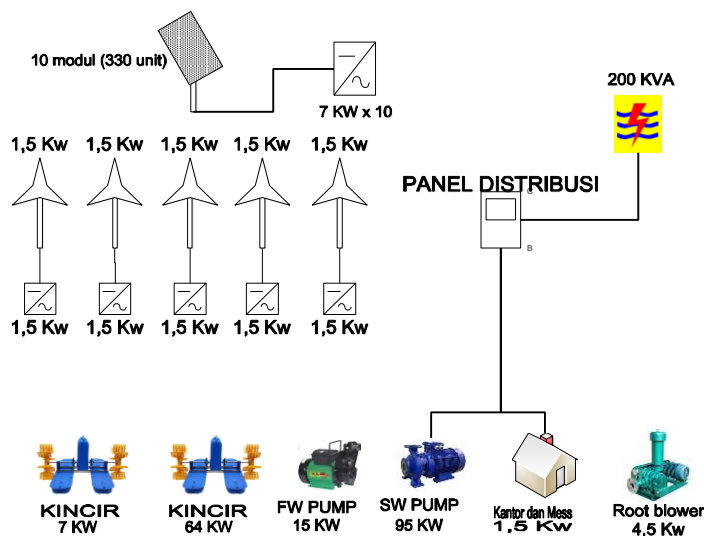
Gambar 4. 12 menunjukkan simulasi besarnya aliran daya dimana daya pompa adalah sebesar 15 KW dengan daya semu sebesar 17 KVA dan daya reaktif sebesar 9 KVAR dengan faktor daya sebesar 85,8%.



Gambar 4. 12 Aliran daya pada bus pompa saat pompa air tawar beroperasi

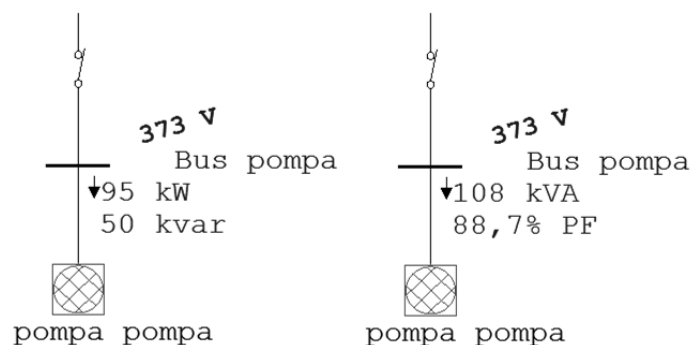
#### 4.4.2.3 Case 3 (16.00-24.00) hari ke 1

Pada *case 3*, beban yang bekerja adalah pompa air laut dengan total daya 95 KW selama 8 jam. Sumber daya listrik yang tersedia untuk melayani pompa air laut adalah *grid*, hal ini disebabkan sumber daya listrik panel PV dan turbin angin tidak beroperasi. Gambar 4. 13 menunjukkan diagram kerja dari *case 3*, dimana *grid* memberikan arus listrik kepada panel distribusi untuk kemudian disalurkan kepada beban listrik yang beroperasi pada *case 3*.



Gambar 4. 13 Diagram kerja *case 3* (16.00-24.00)

Gambar 4. 14 menunjukkan besarnya daya aktif dan reaktif pada *composit network* pompa dimana hasil simulasi menunjukkan besarnya daya yang dibutuhkan oleh pompa air laut adalah sebesar 95 KW dengan daya reaktif sebesar 50 KVAR dan daya semu sebesar 108 KVA dan faktor daya sebesar 88,7%.

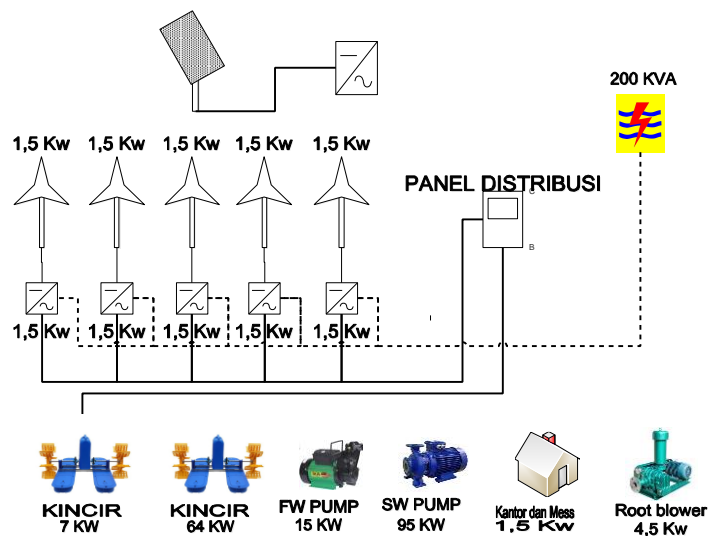


Gambar 4. 14 Aliran daya pada bus pompa saat pompa air laut beroperasi



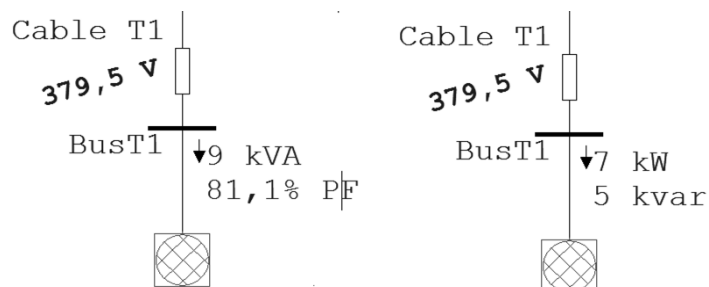
#### 4.4.2.4 Case 4 (06.00-15.00) hari ke 2 untuk tambak 1

Tambak yang merupakan beban listrik pada *case 4* adalah 1 petak tambak dimana terdapat 6 unit kincir dengan total daya beban 7 KW yang beroperasi pada jam 06.00-15.00 dengan sumber daya listrik turbin angin. Arus listrik dari *grid* digunakan sebagai standar penyesuaian yang digunakan agar tegangan dan frekuensi yang dihasilkan dari seluruh *inverter* sama besar sehingga dapat diparalelkan untuk melayani beban. Diagram kerja dari *case 4* dapat dilihat pada Gambar 4. 15.



Gambar 4. 15 diagram kerja *case 4* (06.00-15.00)

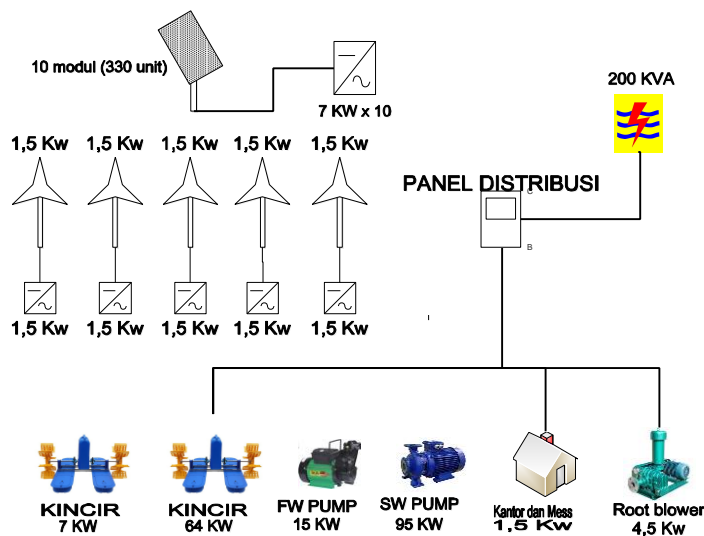
Gambar 4. 16 menunjukkan hasil simulasi dimana didapatkan bahwa besarnya daya aktif pada tambak adalah sebesar 7 KW dengan daya semu sebesar 9 KVA dan daya reaktif sebesar 5 KVAR, besarnya faktor daya pada *case 1* adalah sebesar 81,1 %.



Gambar 4. 16 Aliran daya pada bus tambak 1

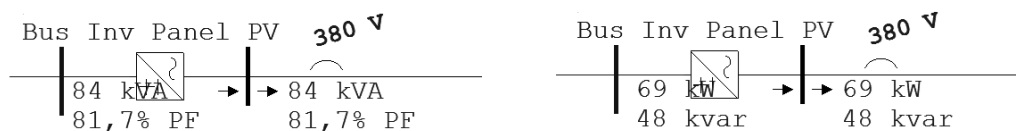
#### 4.4.2.5 Case 5 (06.00-10.00) hari ke 2-31

Sumber daya listrik yang digunakan pada jam 06.00-10.00 adalah *grid*, beban listrik yang beroperasi adalah kincir dengan jumlah 54 unit, *root blower* dengan jumlah 4 unit dan kantor/mess seperti ditunjukkan pada Gambar 4. 17. sumber daya listrik yang digunakan pada *case 5* adalah *grid*, hal ini disebabkan sumber daya listrik yang lain yaitu panel PV belum dapat menghasilkan daya listrik dan turbin angin tidak mampu menyuplai beban listrik dengan daya lebih dari 7 KW.



Gambar 4. 17 Diagram kerja *case 5* (06.00-10.00)

Dari hasil simulasi yang ditunjukkan dari Gambar 4. 18 didapatkan bahwa besarnya daya aktif yang dibutuhkan beban adalah sebesar 69 KW dengan daya semu sebesar 84 KVA dan daya reaktif sebesar 48 KVAR dengan faktor daya 81,7%.

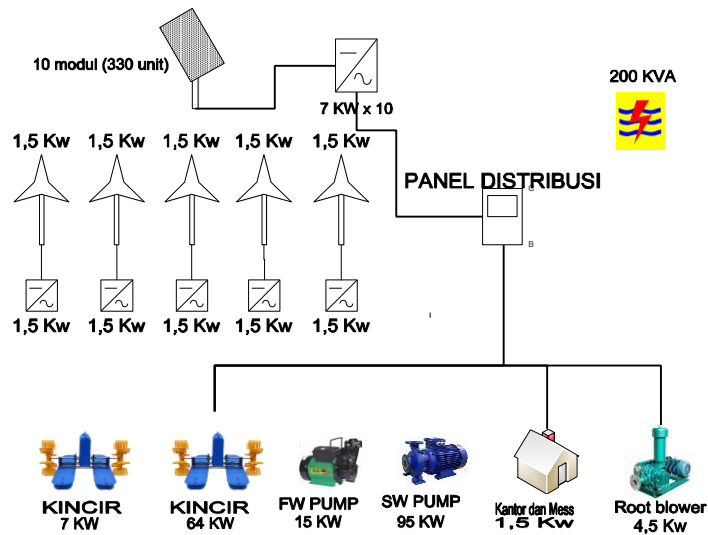


Gambar 4. 18 Aliran daya dari *grid* ke beban pada *case 5*

#### 4.4.2.6 Case 6 (10.00-15.00) hari ke 2-31

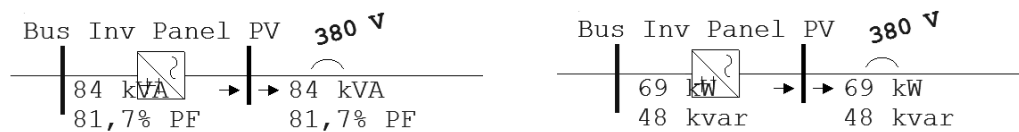
Beban yang beroperasi pada *case 6* adalah kincir sebanyak 54 unit, 4 unit *root blower* dan kantor/mess. Sumber daya listrik yang digunakan pada *case 6*

adalah panel PV yang berjumlah 330 buah yang dibagi menjadi 3 modul yang masing-masing terdiri dari 112 buah panel PV. Setiap modul akan melayani 1 unit *inverter* dengan rating daya 30 KW. *Inverter* akan memberikan arus listrik ke panel distribusi untuk selanjutnya disalurkan ke beban. Diagram kerja dari sistem pada jam 10.00-15.00 dapat dilihat pada Gambar 4. 19.



Gambar 4. 19 Diagram kerja *case 6* (10.00-15.00)

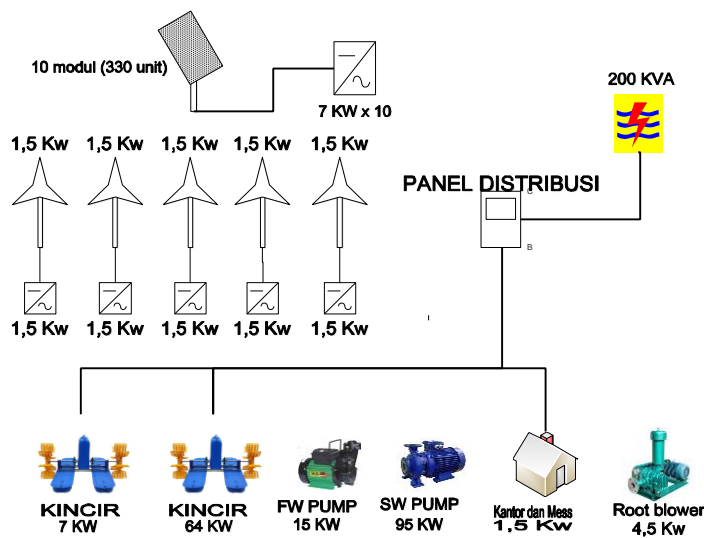
Hasil simulasi untuk *case 6* yang ditunjukkan pada Gambar 4. 20 menunjukkan besarnya daya aktif pada beban adalah sebesar 69 KW dengan daya semu sebesar 84 KVA dan daya reaktif sebesar 48 KVAR. Faktor daya yang timbul dari beban adalah sebesar 81,7%.



Gambar 4. 20 Aliran daya dari panel PV ke beban

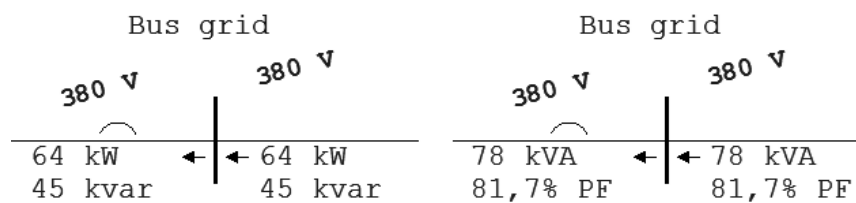
#### 4.4.2.7 *Case 7* (15.00-06.00) hari ke2-31

Beban yang beroperasi pada *case 7* jam 15.00-06.00 adalah kincir dengan jumlah 60 unit dan kantor/mess. Sumber daya listrik yang tersedia pada jam 15.00-06.00 adalah *grid*. Dari *grid* arus listrik akan disalurkan menuju panel distribusi dimana arus listrik akan didistribusikan menuju beban yang beroperasi pada jam 15.00-06.00. Diagram kerja pada *case 7* dapat dilihat pada Gambar 4. 21.



Gambar 4. 21 Aliran daya pada *case 7* (15.00-06.00)

Gambar 4. 22 menunjukkan aliran daya pada *case 7* dimana dari hasil simulasi didapatkan besarnya daya aktif pada bus *grid* adalah sebesar 64 KW, dengan daya reaktif sebesar 45 KVAR dengan daya semu sebesar 78 KVA. Faktor daya dari beban adalah sebesar 81,7%.



Gambar 4. 22 Aliran daya pada *case 7* (15.00-06.00)

#### 4.4.2.8 Hasil Analisa Load Flow

Dari analisa load flow dapat diketahui besarnya faktor daya pada sistem hibrid yang didesain seperti ditunjukkan pada Tabel 4. 16. Setelah diketahui besarnya faktor daya untuk setiap *case*, selanjutnya akan dilakukan *optimal capacitor placement* untuk meningkatkan faktor daya pada desain yang telah dibuat.

Tabel 4. 16 Hasil analisa *load flow*

No.	Case	Daya (KW/KVA)	Daya Reaktif (KVAR)	Faktor Daya
1	1	0,15/0,15	0	0
2	2	15/17	9	85,8%
3	3	95/108	50	88,7%

4	4	7/9	5	81%
5	5	69/84	48	81,7%
6	6	69/84	48	81,7%
7	7	64/78	45	81,7%

#### 4.4.3 Optimal Capacitor Placement

Beban dominan dari tambak adalah motor listrik yang bersifat induktif. Beban induktif ini akan menimbulkan daya reaktif (Q) yang akan mempengaruhi besarnya daya semu (S). Semakin besar daya semu maka daya yang harus dikeluarkan pembangkit (KVA) semakin besar yang akan berpengaruh terhadap daya yang dibangkitkan pembangkit daya listrik.

Pada umumnya inverter hanya memiliki rating faktor daya sebesar 90%, artinya jika *inverter* dengan rating daya 90 KW hanya dapat melayani daya semu sebesar 100 KVA. PLN yang menyediakan sumber daya listrik *grid* hanya memberikan toleransi faktor daya sebesar 85%. Jika faktor daya yang timbul dari konsumen melebihi ketentuan dari PLN maka daya reaktif pada konsumen akan dikenakan biaya. Pemasangan kapasitor daya hanya dilakukan pada beban yang menimbulkan daya reaktif yaitu pada *case 2, case 4, case 5, case 6, dan case 7*

##### 4.4.3.1 Case 2 (08.00-10.00)/hari ke 1

Besarnya kapasitor yang digunakan untuk memperbaiki faktor daya yang sebelumnya adalah sebesar 85,8% akan ditingkatkan menjadi 95% dapat dihitung dengan formula berikut.

$$S = \frac{P}{P_f} \quad (4.3)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (4.4)$$

$$Q_c = Q_1 - Q_2 \quad (4.5)$$

$$C = \frac{Q_c}{2\pi f} \quad (4.6)$$

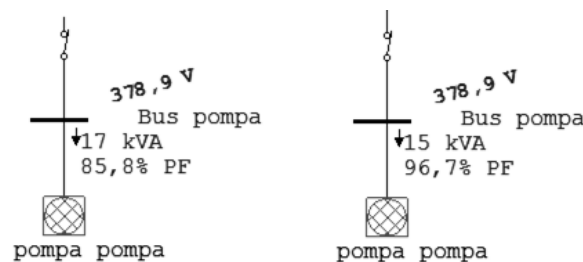
$Q_1$  = Daya reaktif awal

$Q_2$  = Daya reaktif setelah perbaikan faktor daya

$Q_c$  = Besarnya kapasitor untuk menaikkan faktor daya

C = Ukuran kapasitor dalam farad

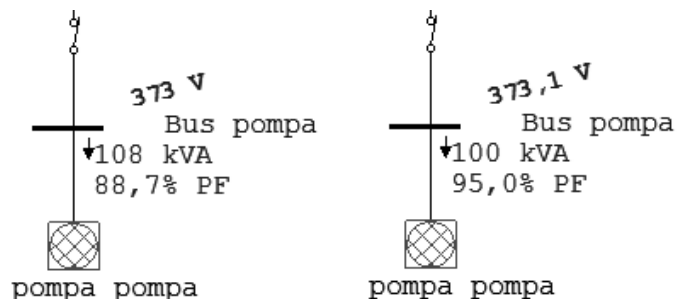
Dari formula 4.3, 4.4, 4.5, dan 4.6 maka akan didapatkan ukuran kapasitor daya yang akan digunakan untuk meningkatkan faktor daya menjadi 95% adalah sebesar 5 KVAR atau dalam satuan farad adalah 0,016 Farad. Besarnya faktor daya yang berubah setelah pemasangan kapasitor daya pada bus *composit network* pompa ditunjukkan pada Gambar 4. 23 dimana besarnya faktor daya setelah pemasangan kapasitor daya berubah dari yang sebelumnya adalah 85,8% menjadi 96,7%.



Gambar 4. 23 Aliran daya pada bus *composit network* pompa (pompa air tawar beroperasi) sebelum dan sesudah penambahan kapasitor daya

#### 4.4.3.2 Case 3 (16.00-24.00)/hari ke 1

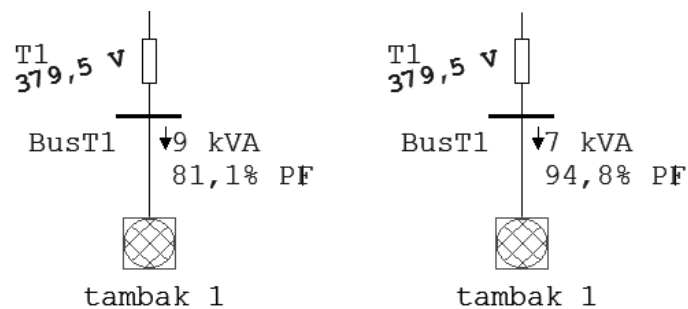
Untuk *case 3*, beban yang beroperasi adalah pompa air laut dengan total daya 95 KW dengan daya semu sebesar 108 KVA dan daya reaktif sebesar 50 KVAR dengan faktor daya 88,7%. Dari formula 4.3, 4.4, 4.5, dan 4.6, maka didapatkan besarnya kapasitor daya yang digunakan untuk meningkatkan faktor daya menjadi 95% yaitu sebesar 18,8 KVAR atau 0,06 Farad. Aliran daya pada bus *composit network* pompa sebelum dan setelah pemasangan kapasitor daya dapat dilihat pada Gambar 4. 24 dimana besarnya faktor daya setelah dilakukan pemasangan kapasitor daya menjadi 95% dimana sebelumnya adalah 88,7%.



Gambar 4. 24 Aliran daya pada *composit network* pompa (pompa air laut beroperasi) sebelum dan sesudah penambahan kapasitor daya

#### 4.4.3.3 Case 4 (06.00-15.00)/hari ke2-31 Tambak 1

Beban yang dilayani oleh case 5 adalah 1 petak tambak dengan beban listrik 6 unit kincir dengan total daya 7 KW dengan faktor daya 81,1%. Sumber daya listrik yang digunakan untuk meningkatkan faktor daya menjadi 95% , dari formula 4.3, 4.4, 4.5, dan 4.6 maka diperoleh ukuran kapasitor daya yang digunakan untuk meningkatkan faktor daya menjadi 95% yaitu sebesar 2,7 KVAR atau  $8,6 \times 10^{-3}$  Farad. Aliran daya pada bus tambak 1 sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor daya dapat dilihat pada Gambar 4. 25.

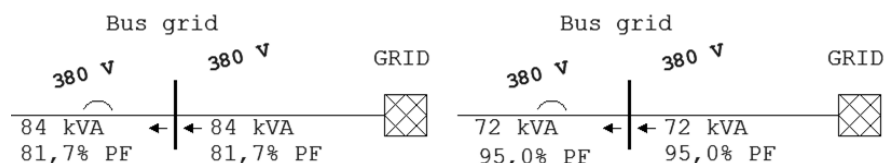


Gambar 4. 25 Aliran daya pada *composit network* tambak 1 sebelum dan sesudah penambahan kapasitor daya

#### 4.4.3.4 Case 5 (06.00-10.00)/hari 2-31

Beban yang beroperasi pada case 5 adalah kincir dengan jumlah 54 unit, 4 unit *root blower*, dan kantor/mess dengan total daya aktif sebesar . Sumber daya listrik yang digunakan adalah *grid*, total daya aktif yang dibutuhkan beban adalah sebesar 69 KW dengan daya semu sebesar 84 KVA dan daya reaktif sebesar 48 KVAR dengan faktor daya 81,7%.

Dari formula 4.3, 4.4, 4.5, dan 4.6 maka diperoleh ukuran kapasitor daya yang digunakan untuk meningkatkan faktor daya sebesar 95% yaitu sebesar 25 KVAR atau 0,08 Farad. Aliran daya pada saat sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor daya dapat dilihat pada Gambar 4. 26.

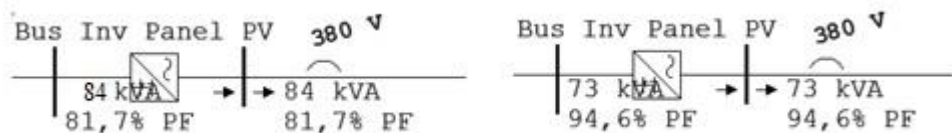


Gambar 4. 26 Aliran daya pada bus *grid* (06.00-10.00) sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor daya.

#### 4.4.3.5 Case 6 (10.00-15.00)/hari 2-31

Pada case 6 sumber daya yang digunakan adalah panel PV yang terhubung dengan 10 unit *inverter* yang masing-masing mempunyai rating daya 7 KW. Tiap *inverter* diberikan daya oleh 33 unit panel PV yang terhubung seri. Beban yang dilayani oleh panel PV adalah kincir dengan jumlah 54 unit, *root blower* dan kantor/mess. Besarnya daya aktif pada beban adalah sebesar 69 KW dengan daya semu sebesar 84 KVA dan daya reaktif sebesar 48 KVAR. Faktor daya yang timbul dari beban adalah sebesar 81,7%..

Dari formula 4.3, 4.4, 4.5, dan 4.6 maka diperoleh ukuran kapasitor daya yang digunakan untuk meningkatkan faktor daya menjadi 95% yaitu sebesar 25 KVAR atau 0,08 Farad. Gambar 4. 27 menunjukkan aliran daya pada beban pada saat sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor daya.



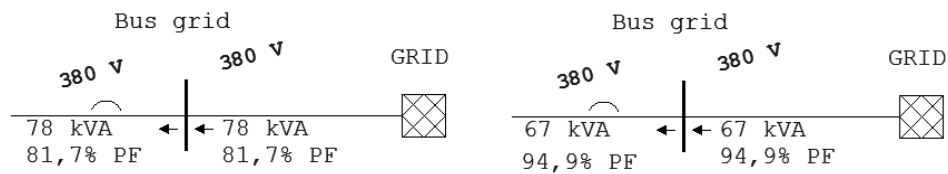
Gambar 4. 27 Aliran daya pada bus *inverter* panel PV (06.00-10.00) sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor daya

#### 4.4.3.6 Case 7 (15.00-06.00)/hari ke 2-31

Pada case 7 beban yang beroperasi adalah kincir dengan jumlah 60 unit dan kantor/mess dengan total daya aktif pada bus *grid* adalah sebesar 64 KW, dengan daya reaktif sebesar 45 KVAR dengan daya semu sebesar 78 KVA. Faktor daya dari beban adalah sebesar 81,7%.

Untuk meningkatkan faktor daya menjadi 95% berdasarkan formula 4.3, 4.4, 4.5, dan 4.6 maka diperoleh ukuran kapasitor daya yang digunakan untuk meningkatkan faktor daya menjadi 95% yaitu sebesar 24 KVAR atau 0,76 Farad. Aliran daya pada bus *grid* pada saat sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor daya dapat dilihat pada Gambar 4. 28.





Gambar 4. 28 Aliran daya pada bus grid (15.00-06.00) sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor daya

Gambar 4. 28 menunjukkan besarnya daya semu sebelum pemasangan kapasitor daya adalah sebesar 78 KVA dengan faktor daya sebesar 81,7 %. Setelah dilakukan pemasangan kapasitor daya dengan ukuran 24 KVAR, hasil simulasi menunjukkan besarnya faktor daya meningkat menjadi 94,9% dan daya semu berkurang menjadi 67 KVA.

#### 4.4.3.7 Hasil Optimal Capacitor Placement

Setelah dilakukan pemasangan kapasitor daya, besarnya faktor daya dari sistem kelistrikan yang didesain meningkat lebih dari 90% yang artinya telah memenuhi standar faktor daya yang diizinkan oleh PLN dan kemampuan dari inverter yang digunakan (90%). Tabel 4. 17 menunjukkan hasil dari *Optimal Capacitor Placement*.

Tabel 4. 17 Hasil *Optimal Capacitor Placement*

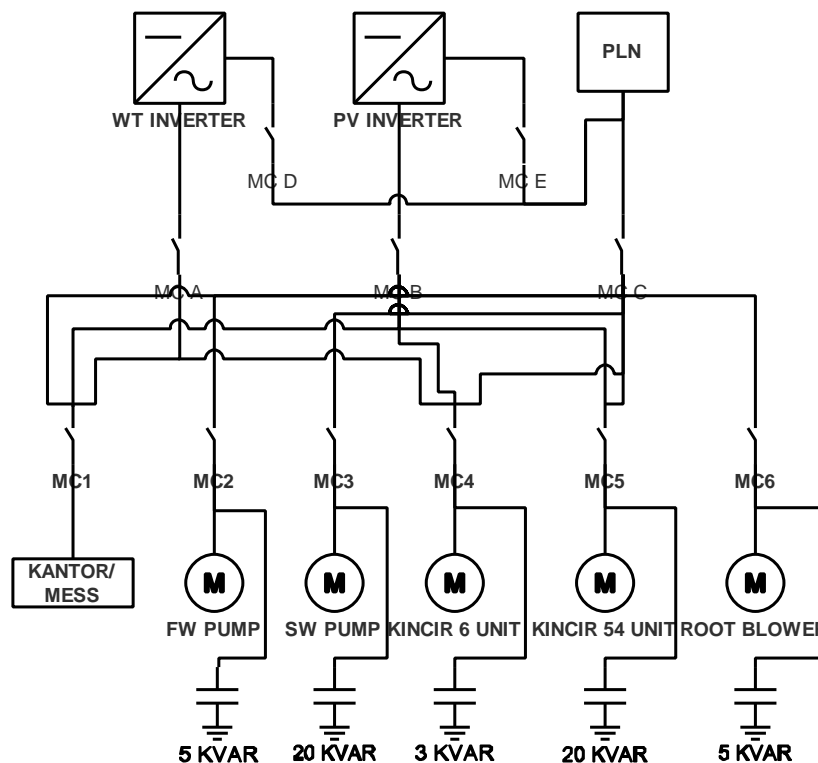
No.	Case	Kapasitor daya (KVAR)	Daya (KVA)		Faktor Daya (%)	
			Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
1	2	5	17	15	85,8	96,7
2	3	18,8	108	100	88,7	95
3	4	2,7	9	7	81,1	94,8
4	5	25	84	73	81,7	95
5	6	25	84	73	81,7	95
6	7	24	78	67	81,7	94,9

#### 4.4.4 Desain Automatic Transfer Switch

Pada desain sistem yang dibuat, setiap sumber daya listrik memiliki jam operasi yang berbeda, maka dari itu dibuatlah sebuah sistem *switching* yang dapat secara otomatis dapat menghubungkan beban dengan sumber daya listrik sesuai dengan jam operasinya. *Automatic transfer switch* yang akan didesain menggunakan *Programmable relay Zelio* dari *Schneider* sebagai *controllernya*.

#### 4.4.4.1 Diagram daya

Gambar 4. 29 menunjukkan diagram daya dari desain *auto transfer switch* (ATS) yang terdiri dari 11 buah *magnetic contactor* dan 6 buah *relay*. *Magnetic contactor* ini akan aktif sesuai dengan jam kerja dari tiap sumber daya listrik yang diatur melalui *programmable relay*. *Relay* berfungsi menghubungkan kapasitor daya dengan beban sesuai dengan jam operasinya. Fungsi dari masing-masing *magnetic contactor* dan *relay* ditunjukkan pada Tabel 4. 18.



Gambar 4. 29 Diagram kerja *automatic switch controller*

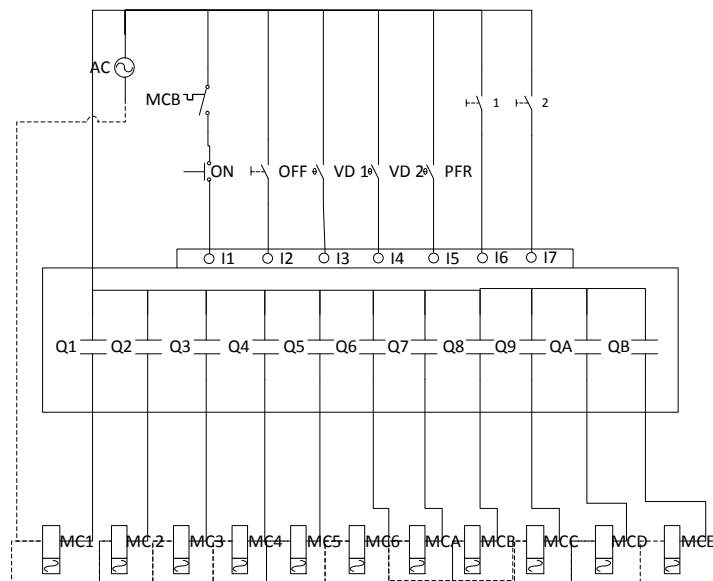
Tabel 4. 18 Keterangan fungsi *relay* diagram kerja

No	<i>Relay / Magnetic contactor</i>	Fungsi
1	MC 1	Menghubungkan sumber daya listrik dengan kantor/mess
2	MC 2	Menghubungkan pompa air tawar dengan sumber daya listrik
3	MC3	Menghubungkan pompa air laut dengan sumber daya listrik

4	MC 4	Menghubungkan tambak 1 dengan sumber daya listrik
5	MC 5	Menghubungkan kincir 54 unit dengan sumber daya listrik
6	MC 6	Menghubungkan root blower dengan sumber daya listrik
7	MC A	Menghubungkan <i>inverter</i> turbin dengan beban listrik
8	MC B	Menghubungkan <i>inverter</i> panel PV dengan beban listrik
9	MC C	Menghubungkan <i>grid</i> /PLN dengan beban listrik
10	MC D	Menghubungkan <i>grid</i> /PLN dengan <i>inverter</i> turbin angin
11	MC E	Menghubungkan <i>grid</i> /PLN dengan <i>inverter</i> panel PV

#### 4.4.4.2 Diagram kontrol

Diagram kontrol menunjukkan rangkaian yang berfungsi mengaktifkan diagram daya. Rangkaian komponen yang digunakan untuk mengaktifkan diagram daya dari *auto transfer switch* yang didesain ditunjukkan pada Gambar 4. 30. Diagram kontrol ini terdiri dari 6 komponen yaitu ;1 unit *Programmable relay*, 1 buah *Push button*, *toggle switch*, 2 buah *voltage detector*, 1 buah MCB dan 1 buah *phase failure relay*. Fungsi dari komponen tersebut dari fungsi dari terminal *programmable relay* ditunjukkan pada Tabel 4. 19.



Gambar 4. 30 Diagram kontrol *automatic transfer switch*

Tabel 4. 19 Fungsi komponen dan terminal *programmable relay* pada diagram kontrol

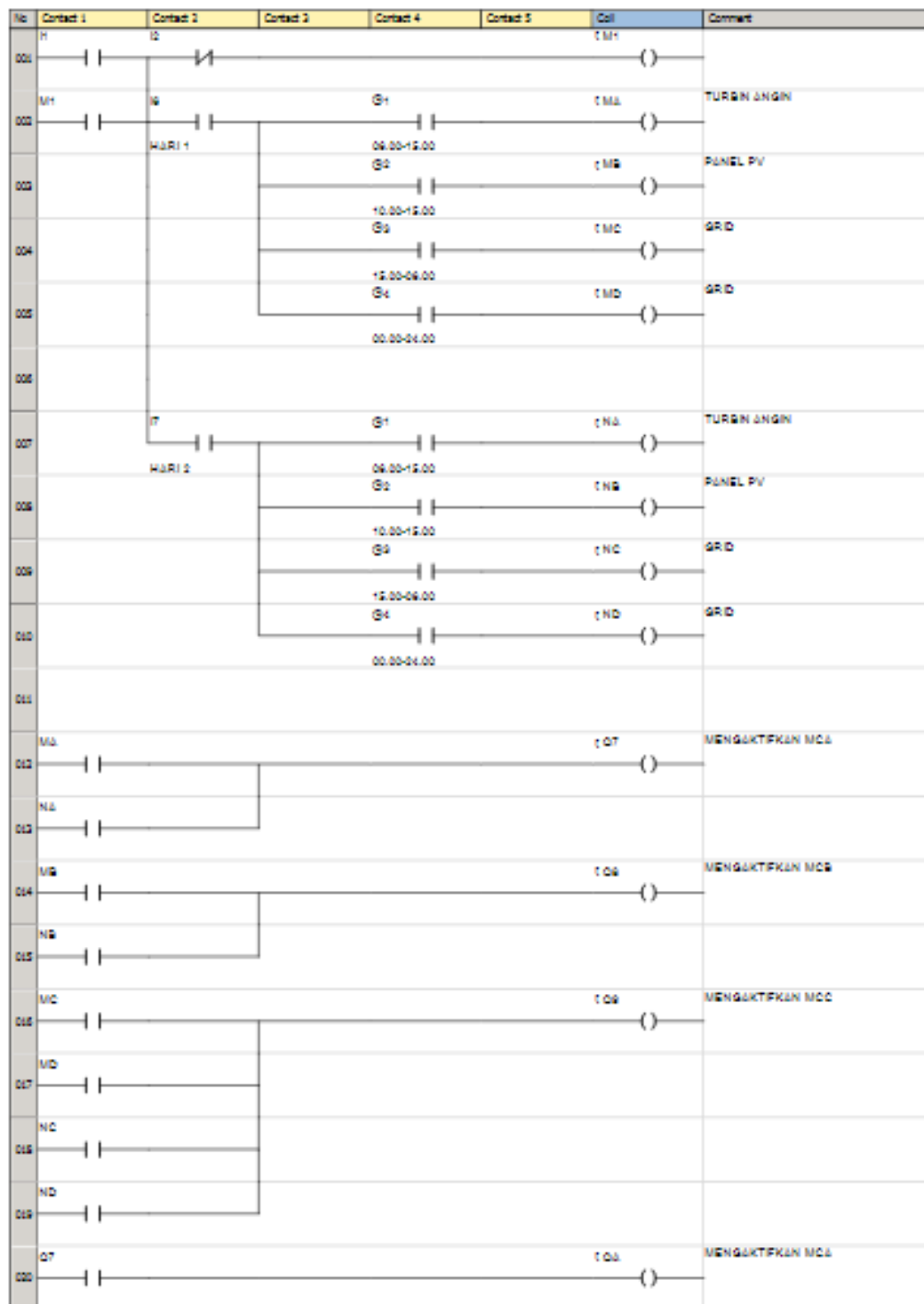
No.	Komponen / Terminal	Fungsi	Keterangan
1	<i>Push button</i> No. (on)	Mengaktifkan <i>programmable relay</i>	
2	<i>Toggle switch</i> NO (off)	Menonaktifkan <i>Programmable relay</i>	
3	<i>Switch Voltage Detector</i> WTG (VD1)	Mendeteksi terjadinya <i>under voltage</i> dari turbin angin	Jika terjadi <i>under voltage</i> dari tegangan pada controller turbin, ATS akan secara otomatis akan memindahkan sumber daya listrik ke <i>grid</i>
4	<i>Switch Phase Failure Relay</i> (PFR)	Mendeteksi terjadinya tidak seimbangan antar <i>phase</i>	Jika terjadi ketidak seimbangan tegangan yang menuju MCCB maka ATS akan menonaktifkan seluruh MC

5	<i>Switch Voltage Detector</i> Panel PV (VD2)	Mendeteksi terjadinya <i>under voltage</i> dari turbin angin	Jika terjadi <i>under voltage</i> dari tegangan pada inverter panel PV, ATS akan secara otomatis akan memindahkan sumber daya listrik ke <i>grid</i>
6	<i>Input 1</i>	Menerima arus masukan dari <i>push button</i> NO (on)	
7	<i>Input 2</i>	Menerima arus masukan dari <i>Toggle switch</i> NO (off)	
8	<i>Input 3</i>	Menerima arus masukan dari <i>voltage detector</i> turbin angin (VD1)	
9	<i>Input 4</i>	Menerima arus masukan dari <i>voltage detector</i> turbin angin (VD2)	
10	<i>Input 5</i>	Menerima arus masukan dari <i>phase failure relay</i> (PFR)	
11	<i>Input 6</i>	Menerima arus masukan dari <i>toggle switch</i> 1	Mengaktifkan program untuk hari ke 1
12	<i>Input 7</i>	Menerima arus masukan dari <i>toggle switch</i> 2	Mengaktifkan program untuk hari ke 2-31
10	<i>Output 1 / Q1</i>	Mengaktifkan MC 1 (kantor/mess)	Jam operasi 06.00-10.00 / hari ke 1
11	<i>Output 2 / Q2</i>	Mengaktifkan MC 2 (pompa air tawar)	Jam operasi 08.00-10.00 / hari ke 1
12	<i>Output 3 / Q3</i>	Mengaktifkan MC 3 (pompa air laut)	Jam operasi 16.00-24.00 / hari ke 2-31
13	<i>Output 4 / Q4</i>	Mengaktifkan MC 4 (tambak 1/kincir 6 unit)	Jam operasi 06.00-10.00 / hari ke 2-31

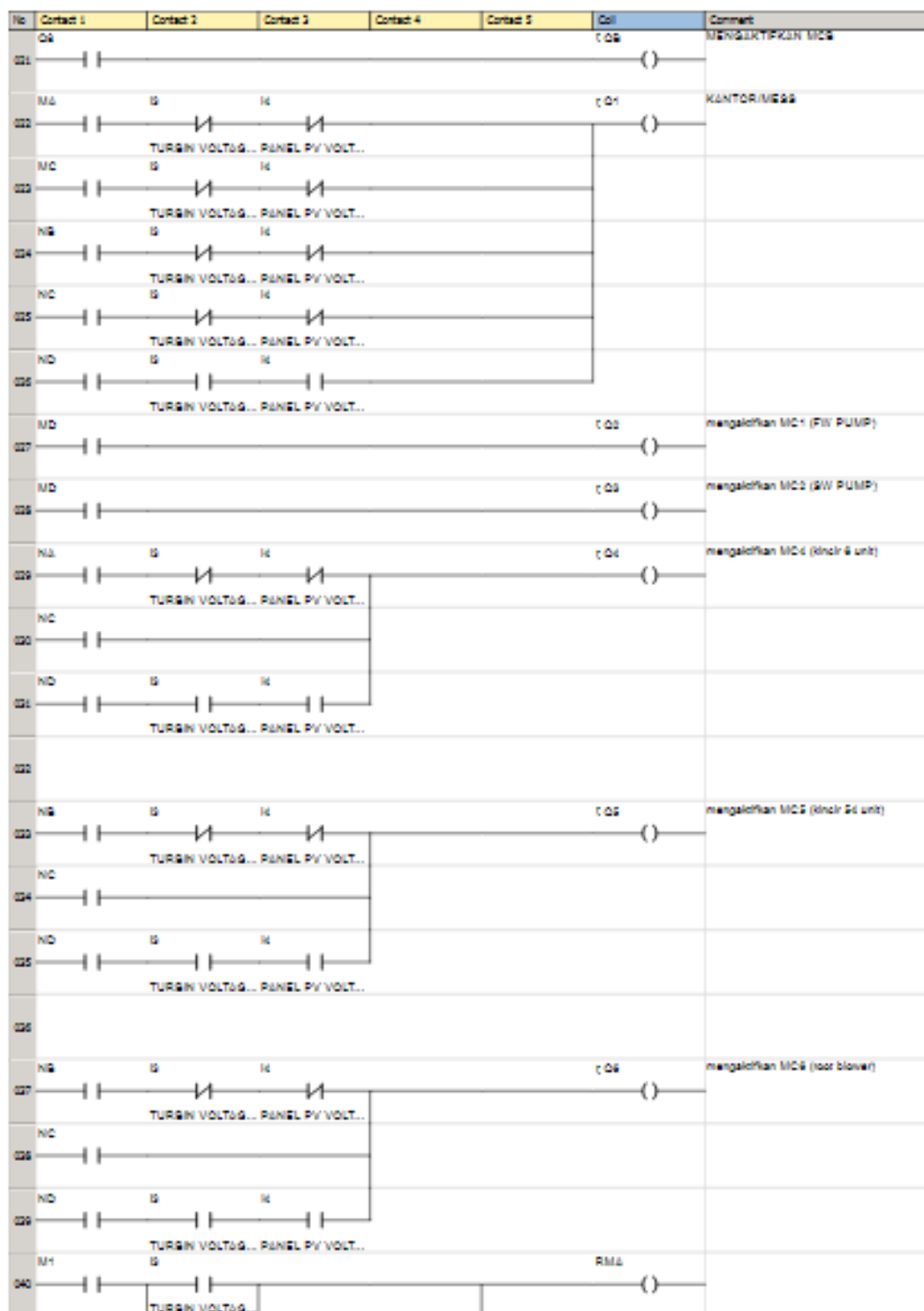
14	<i>Output 5 / Q5</i>	Mengaktifkan MC 5 (kincir 54 unit)	Jam operasi 06.00-10.00 / hari ke 2-31
15	<i>Output 6 / Q6</i>	Mengaktifkan MC 6 ( <i>root blower</i> )	Jam operasi 06.00-10.00 / hari ke 2-31
16	<i>Output 7 / Q7</i>	Mengaktifkan MC A, yang menghubungkan <i>inverter</i> turbin angin dengan beban	Jam operasi 06.00-15.00 / hari ke 2-31
17	<i>Output 8 / Q8</i>	Mengaktifkan MC B, yang menghubungkan <i>inverter</i> panel PV dengan beban	Jam operasi 10.00-15.00 / hari ke 2-31
18	<i>Output 9 / Q9</i>	Mengaktifkan MC C, yang menghubungkan <i>grid</i> /PLN dengan beban	Jam operasi 15.00-06.00 / hari ke 2-31
19	<i>Output 10 / QA</i>	Mengaktifkan MC D, yang menghubungkan <i>grid</i> /PLN <i>inverter</i> turbin angin	Jam operasi 06.00-15.00 / hari ke 1-31
20	<i>Output 11 / QB</i>	Mengaktifkan MC E, yang menghubungkan <i>grid</i> /PLN <i>inverter</i> panel PV	Jam operasi 10-15 / hari ke 2-31

#### 4.4.4.3 *Diagram program*

*Programmable relay* adalah sebuah relay yang bekerja berdasarkan perintah atau program yang dibuat. Program yang digunakan pada *programmable relay* berupa *ladder* program dimana perintah yang dibuat menggunakan garis bertingkat yang menyerupai *ladder* (tangga). Diagram program dari *auto transfer switch* yang dibuat ditunjukkan pada Gambar 4. 31.

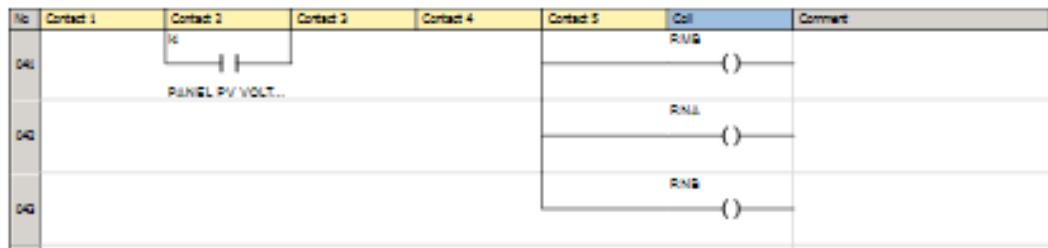


Gambar 4. 31 Ladder program untuk auto transfer switch



Gambar 4. 32 Ladder program untuk auto transfer switch (lanjutan)





Gambar 4. 33 Ladder program untuk auto transfer switch (lanjutan)

## 4.5 Analisa kelistrikan

Sistem hibrid yang telah di buat akan dilakukan simulasi untuk melihat bagaimana reaksi dari sistem hibrid terhadap beberapa keadaan. Diantaranya adalah analisa *starting motor*. Jika hasil dari simulasi menunjukkan terjadinya drop tegangan yang melebihi batas yang ditentukan, maka akan dilakukan penambahan komponen, konfigurasi beban, desain sistem kontrol dengan *grid* sebagai sumber daya listrik yang digunakan pada saat *starting motor*.

### 4.5.1 Analisa Starting Motor.

Pada saat terjadi penggantian pembangkit listrik, maka untuk sesaat beban akan mati dan hidup kembali. Pada saat beban hidup kembali (mendapatkan arus listrik), pada beban yang berupa motor listrik akan terjadi lonjakan arus yang besarnya dapat mencapai 5 kali arus nominal. Arus start ini akan menyebabkan turunnya tegangan beberapa saat. Menurut standar IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) besarnya *voltage drop* pada terminal motor adalah minimal yang diizinkan adalah 80% seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. 20.

Tabel 4. 20 Drop voltage yang diizinkan pada saat *starting motor*

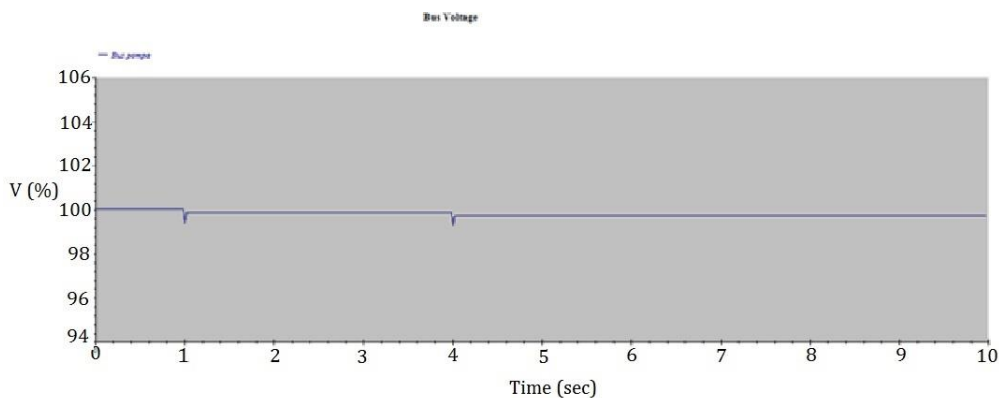
<i><b>Voltage drop location or problem Minimum allowable</b></i>	<i><b>Minimum allowable voltage (% rated)</b></i>
<i>At terminals of starting motor</i>	80%
<i>All terminals of other motors that must reaccelerate</i>	71%
<i>AC contactor pick-up (by standard) (see 9.8, NEMA standards)</i>	85%

<i>DC contactor pick-up (by standard)</i> <i>(see 9.8, NEMA standards)</i>	80%
<i>Contactor hold-in (average of those in use)</i>	60–70%
<i>Solid-state control devices</i>	90%
<i>Noticeable light flicker</i>	3% change

Analisa *starting* motor dilakukan pada masing-masing beban yang menggunakan motor listrik yaitu pada pompa air laut, pompa air tawar, *root blower* dan pada kincir.

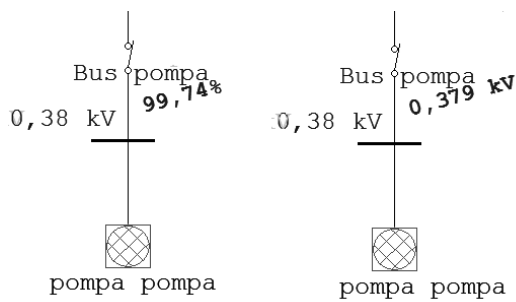
#### 4.5.1.1 Analisa *starting* motor pada case 2 (hari ke 1)

Pompa tawar mulai beroperasi pada jam 08.00 sampai dengan jam 11.00 dengan total daya sebesar 15 KW. Sumber daya listrik yang digunakan untuk pompa air tawar adalah grid. Besarnya drop tegangan pada bus pompa pada saat pompa air tawar beroperasi ditunjukkan pada Gambar 4. 34.



Gambar 4. 34 Grafik tegangan listrik pada bus pompa (*case 2*)

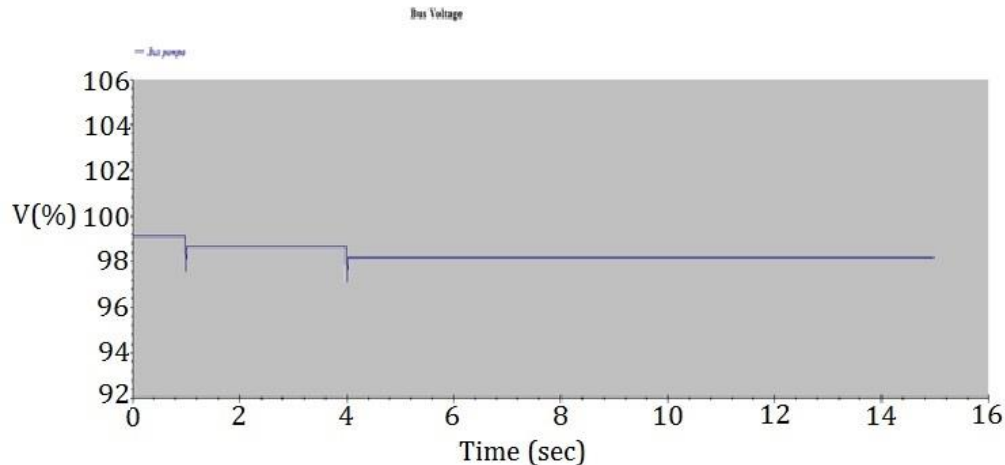
Gambar 4. 35 menunjukkan besarnya drop tegangan pada saat pompa air tawar beroperasi yaitu sebesar 99,74% yang berarti masih di atas batas tegangan yang diizinkan standar IEEE.



Gambar 4. 35 Besarnya tegangan listrik pada bus pompa setelah Analisa starting motor pada *case 2*

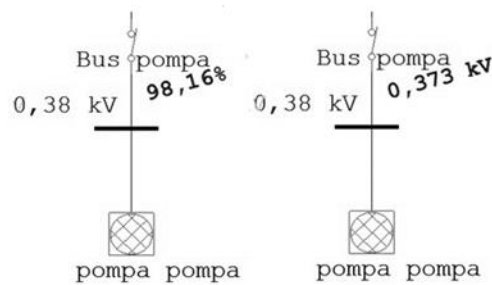
#### 4.5.1.2 Analisa starting motor pada *case 3*

Pada *case 3* beban yang beroperasi adalah pompa air laut dengan total daya 95 KW dengan sumber daya listrik *grid*. Pompa air laut berfungsi mengisi tambak dengan memompa air dari laut melauai pipa berukuran 8 inci. Pompa ini beroperasi pada pukul 16.00-24.00 pada hari ke 1. Untuk mencegah arus start yang terlalu besar mengingat pompa ini memiliki daya yang besar, maka saat starting pompa dilakukan bertahap dengan jeda waktu 3 detik. Gambar 4. 36 menunjukkan grafik besarnya tegangan pada bus pompa pada saat dilakukan simulasi .



Gambar 4. 36 Grafik tegangan listrik pada bus pompa (*case 3*)

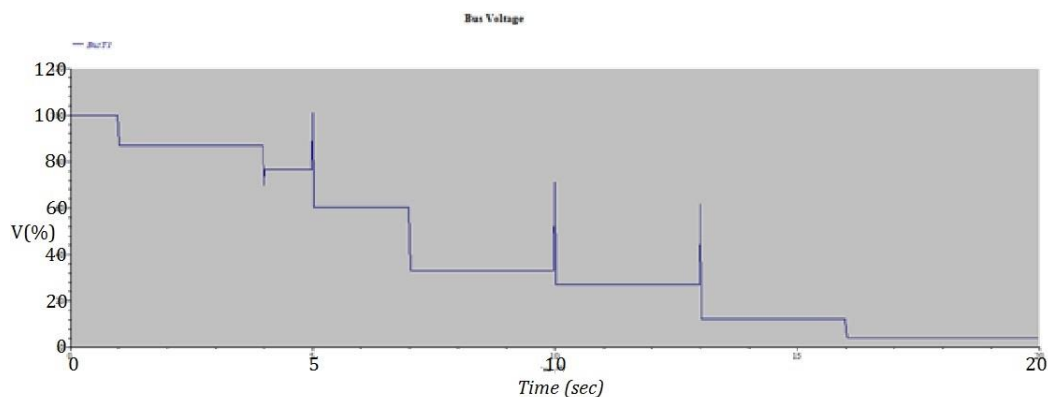
Gambar 4. 37 menunjukkan besarnya drop tegangan yang terjadi pada saat seluruh pompa air laut beroperasi adalah sebesar 98,16% dari tegangan nominal atau sebesar 373 volt masih sesuai standar yang ditetapkan IEEE.



Gambar 4. 37 Besarnya tegangan listrik pada bus pompa setelah Analisa starting motor pada *case 3*

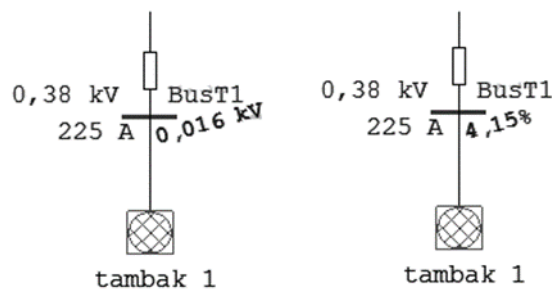
#### 4.5.1.3 Analisa starting motor pada *case 4* (hari ke 2-31)

Pada *case 2* beban yang beroperasi adalah tambak 1 dengan jumlah kincir sebanyak 6 unit dengan total daya sebesar 7 KW dan pembangkit yang digunakan adalah turbin angin. Untuk mencegah agar arus listrik pada saat start tidak terlalu tinggi maka waktu *starting* kincir 1 sampai dengan kincir 6 dilakukan dalam jeda waktu 3 detik. Besarnya drop tegangan pada yang terjadi bus tambak 1 pada saat kincir mulai beroperasi ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4. 38.



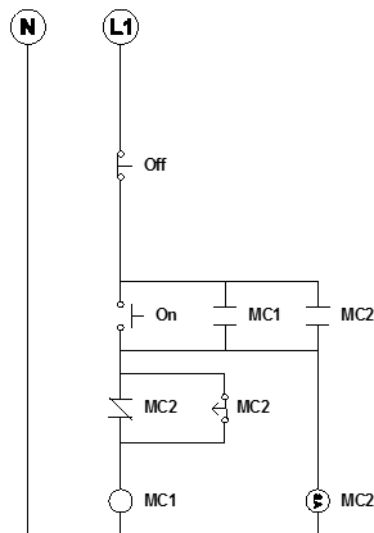
Gambar 4. 38 Grafik tegangan listrik pada bus tambak 1 (*case 4*)

Gambar 4. 39 menunjukkan besarnya drop tegangan pada bus tambak 1 pada saat seluruh kincir pada tambak 1 beroperasi adalah sebesar 4,15% yang berarti sangat di bawah standar yang diizinkan oleh IEEE yaitu 80%.



Gambar 4. 39 Besarnya tegangan listrik pada bus pompa setelah Analisa starting motor pada *case 4*

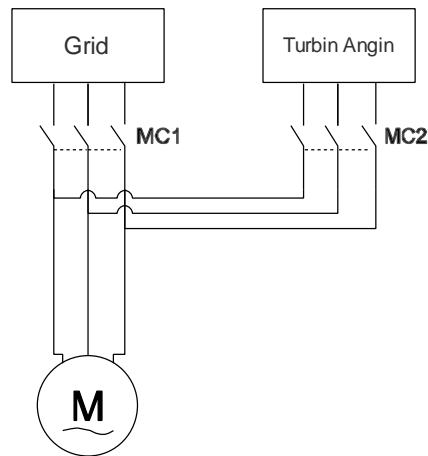
Agar kincir tambak 1 dapat beroperasi dengan sumber daya listrik dari turbin angin, maka pada saat *starting* sumber daya listrik yang digunakan pada saat *starting* adalah *grid*. Gambar berikut merupakan rangkaian kontrol yang digunakan untuk mengoperasikan beban listrik (kincir) pada tambak 1 dengan sumber daya listrik *grid* pada saat *starting* dan menggunakan sumber daya listrik turbin angin pada saat *running*. Diagram kontrol dari rangkaian *starting* dan *running* untuk kincir pada tambak 1 ditunjukkan pada Gambar 4. 40.



Gambar 4. 40 Diagram kontrol untuk kincir pada tambak 1

Cara kerja dari rangkaian kontrol untuk kincir pada tambak 1 adalah sebagai berikut ; apabila tombol on di tekan maka arus listrik akan mengaktifkan MC1 dan MC2. MC2 adalah *magnetic contactor* dengan *timer on delay* yang diatur untuk aktif setelah 3 detik. Setelah MC2 aktif maka akan kontak NC (*normally close*) dari MC2 akan terbuka sehingga MC1 menjadi tidak aktif. Kontak *off delay* dari MC2 dihubungkan secara paralel dengan kontak NC dari MC2 yang mencegah

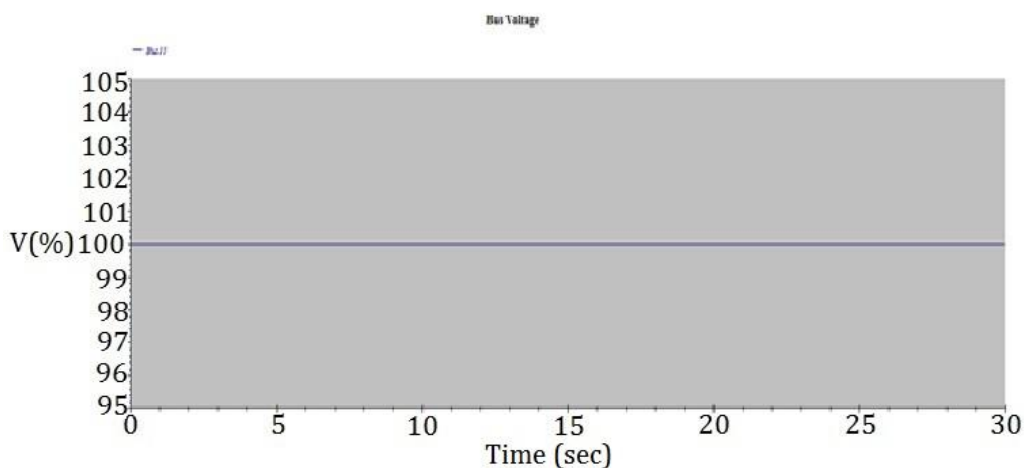
putusnya arus listrik yang menuju beban saat pergantian MC1 ke MC2. Diagram daya untuk kincir pada tambak 1 ditunjukkan pada Gambar 4. 41.



Gambar 4. 41 Diagram daya untuk kincir pada tambak 1

#### 4.5.1.4 Analisa starting motor pada case 5 (hari ke2-31)

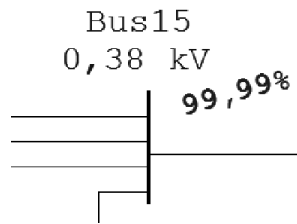
Beban yang beroperasi pada *case 5* adalah kincir dengan jumlah 54 unit, 4 unit *blower* dan kantor/mess. Kincir dan *root blower* mulai beroperasi pada pukul 06.00, untuk mencegah arus *starting* yang terlalu besar maka pengoperasian kincir pada tambak 2 sampai dengan tambak 10 dan *root blower* dilakukan secara bertahap dengan jeda waktu 3 detik. Gambar 4. 42 menunjukkan grafik besarnya tegangan listrik pada saat kincir, dan *root blower* mulai beroperasi.



Gambar 4. 42 Grafik tegangan listrik pada bus 15 (*case 5*)

Besarnya tegangan listrik pada bus 15 saat tambak 2 sampai dengan tambak 10 (kincir 54 unit) dan *root blower* dilakukan *starting* motor adalah sebesar

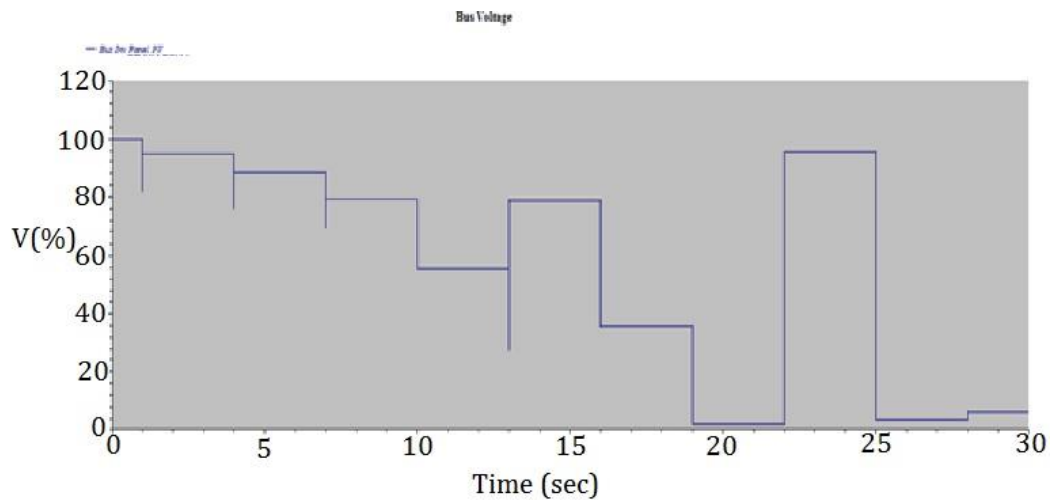
99,99% seperti ditunjukkan pada Gambar 4. 43 yang berarti masih di atas standar IEEE yaitu 80%.



Gambar 4. 43 Besarnya tegangan listrik pada bus 15 setelah Analisa starting motor pada *case 5*

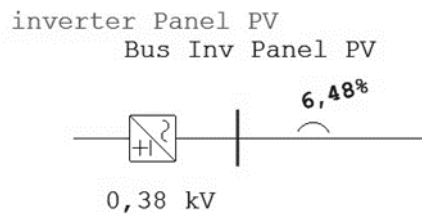
#### 4.5.1.5 Analisa starting motor pada *case 6* (hari ke 2-31)

Beban yang beroperasi pada *case 6* adalah kincir 54 unit, *root blower*, dan kantor/mess dengan total daya 69 KW. Sumber daya listrik yang digunakan pada *case* ini adalah panel PV. grafik yang menunjukkan besarnya drop tegangan yang terjadi jika dilakukan *starting* pada motor listrik yang menjadi beban pada *case 6* ditunjukkan pada Gambar 4. 44.



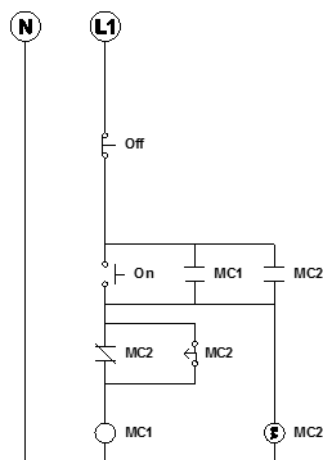
Gambar 4. 44 Grafik tegangan listrik pada bus 15 pada bus *inverter* panel PV

Gambar 4. 45 menunjukkan besarnya tegangan listrik pada bus *inverter* panel PV (*case 6*) dimana setelah tambak 2 sampai dengan tambak 10 (kincir 54 unit) dan *root blower* dilakukan *starting* motor adalah sebesar 6,48% yakni jauh dibawah standar yang ditetapkan oleh IEEE yaitu 80%.



Gambar 4. 45 Besarnya tegangan listrik pada bus *inverter* panel PV setelah Analisa starting motor pada *case 6*

Tegangan listrik yang dibawah standar yang ditetapkan IEEE akan menyebabkan arus listrik yang sangat besar yang dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik. Untuk mencegah terjadinya drop tegangan yang sangat besar pada saat beban dioperasikan pada *case 6*, maka sumber daya listrik yang digunakan untuk melakukan *starting* motor pada *case 6* adalah *grid* dan setelah beberapa detik maka sumber daya listrik akan berpindah ke panel PV. Gambar 4. 46 menunjukkan rangkaian kontrol untuk mengoperasikan kincir dan peralatan lain yang membutuhkan sumber daya listrik dari *grid* pada saat *starting*.

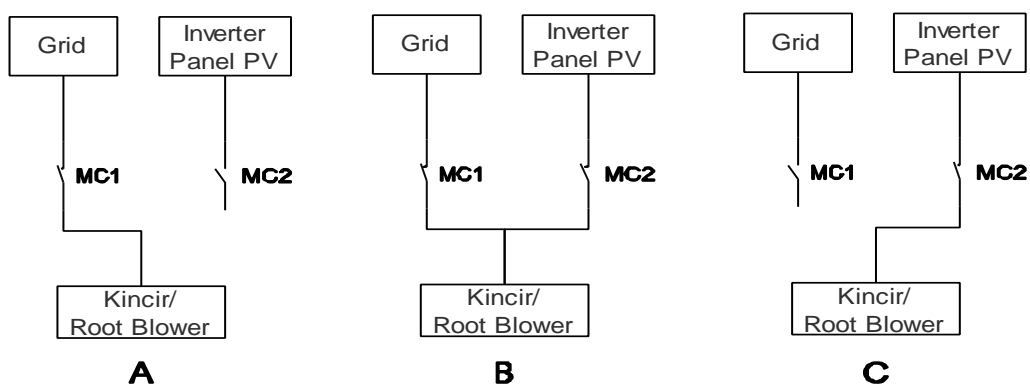


Gambar 4. 46 Diagram kontrol untuk beban pada *case 6*

Gambar 4. 47 menunjukkan rangkaian kontrol untuk tiap tambak dimana MC1 adalah *magnetic* contactor yang menghubungkan beban dengan *grid* dan MC2 adalah *magnetic* contactor yang menghubungkan beban dengan *grid*. Cara kerja dari rangkaian kontrol ini adalah sebagai berikut ; pada saat tombol On ditekan maka arus listrik akan mengaktifkan MC1 sekaligus mengaktifkan MC2 yang disetting untuk menutup setelah 5 detik. Pada saat MC2 aktif yang berfungsi menghubungkan beban dengan inverter panel PV, maka kontak NC MC2 akan terbuka yang akan memutuskan arus listrik yang menuju MC1. Untuk mencegah



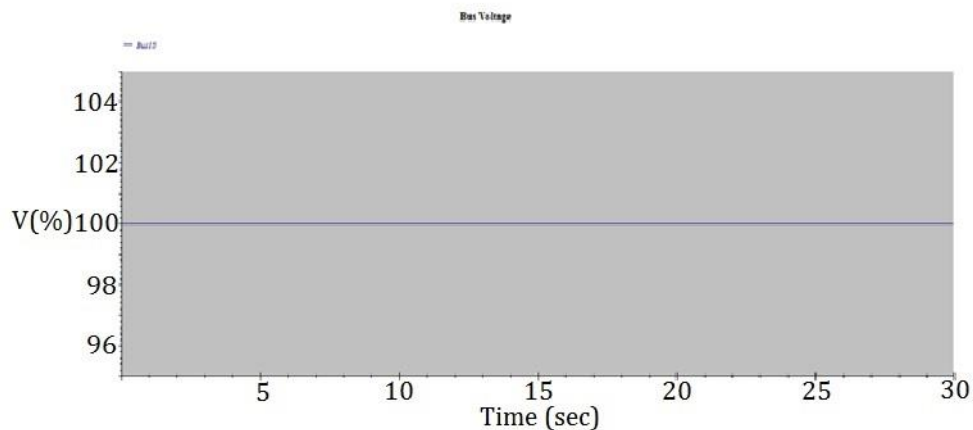
putusnya arus listrik ke beban pada saat pergantian sumber daya listrik, maka kontak *off delay* NC MC2 dihubungkan secara paralel dengan NC MC2. Kontak *off delay* NC MC2 ini disetting selama 3 detik, sehingga selama 3 detik beban akan mendapatkan arus listrik dari 2 sumber daya listrik sebelum berpindah ke sumber daya listrik panel PV. Gambar 4. 47 menunjukkan proses pergantian sumber daya listrik dari *grid* ke panel surya. Gambar A menunjukkan saat *starting* MC1 yang menghubungkan *grid* dan beban aktif, gambar B adalah masa transisi dimana MC1 dan MC2 aktif sehingga beban mendapatkan arus listrik dari 2 sumber daya listrik yaitu *grid* dan *inverter* panel PV, gambar C adalah saat beban dilayani oleh *inverter* panel PV (*running*).



Gambar 4. 47 Proses pergantian sumber daya listrik dari *grid* ke panel surya

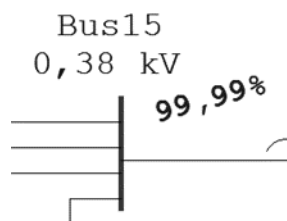
#### 4.5.1.6 Analisa starting motor pada case 7 (hari ke 2-31)

Beban yang beroperasi pada *case 7* adalah kincir dengan jumlah 60 unit dan kantor dengan sumber daya yang digunakan adalah *grid* karena sumber daya listrik yang dapat beroperasi pada *case 7* (15.00-06.00) adalah *grid*. Besarnya drop tegangan yang terjadi pada bus 15 jika dilakukan *starting* motor pada *case 7* ditunjukkan pada Gambar 4. 48.



Gambar 4. 48 Grafik tegangan listrik pada bus 15 (*case 7*) pada bus *inverter* panel PV

Gambar 4. 49 menunjukkan besarnya drop tegangan yang terjadi pada bus 15 jika dilakukan *starting* motor pada *case 7* adalah sebesar 99,99 % yang berarti masih di atas standar yang ditetapkan IEEE yaitu sebesar 80%.



Gambar 4. 49 Besarnya tegangan listrik pada bus 15 setelah Analisa *starting* motor pada *case 7*

#### 4.5.2 Hasil Analisa Starting Motor

Dari hasil analisa *starting motor* dapat diambil kesimpulan bahwa inverter panel PV dan turbin angin tidak dapat digunakan untuk melakukan *starting* motor listrik. Hal ini disebabkan rating dari inverter yang digunakan hanya disesuaikan dengan analisa *load flow*. Jika *rating* dari inverter ditingkatkan maka jumlah panel PV dan turbin angin yang digunakan jumlahnya juga meningkat. Cara yang paling efisien adalah dengan menggunakan sumber daya listrik dari grid untuk melakukan *starting motor* jika sumber daya listrik yang digunakan adalah panel PV dan turbin angin. Tabel 4. 21 menunjukkan hasil analisa *starting motor* dimana untuk *case 4* dan *case 6*, sumber daya listrik yang digunakan pada saat *starting* adalah dari *grid*.

Tabel 4. 21 Hasil analisa *starting motor*

Case	Beban	Drop tegangan		Sumber daya listrik (starting)	
		Volt	%	Sebelum	Sesudah
2	Pompa air tawar 2 unit (15 KW)	379	99,74	Grid	Grid
3	Pompa air laut 4 unit (95 KW)	373	98,16	Grid	Grid
4	Tambak 1 / 6 unit kincir (7 KW)	16	4,15	Turbin angin	Grid
5	Tambak 2-10 / 54 unit kincir, 4 unit blower, kantor/mess (69 KW)	380	99,99	Grid	Grid
6	Tambak 2-10 / 54 unit kincir, 4 unit blower, kantor/mess (69 KW)	24,6	6,48	Panel PV	Grid
7	Tambak 2-10 / 54 unit kincir, kantor/mess (64 KW)	380	99,99	Grid	Grid

#### 4.6 Perhitungan Komponen

Berdasarkan analisa *load flow* jumlah komponen yang dibutuhkan pada desain sistem hibrid yang dibuat ditunjukkan pada tabel 4.22.

Tabel 4. 22 Jumlah komponen sistem hibrid

No.	Komponen	Spesifikasi/rating	Volume
Panel PV			
1	Panel PV	240 WP	333 unit
2	<i>Inverter</i>	7 KW	10
3	<i>Mounting</i>	-	10
4	Kabel panel PV ke inverter	NYMHY/2 x 2,5 mm	240 m
5	MCB modul (1 modul = 33 panel)	12 A	10 buah
Turbin angin			
1	Turbin angin	2,5 m / 1 KW	50 unit
2	<i>Inverter</i>	1,5 KW	5 unit
3	DC/DC konverter	18-36 VDC/24 VDC	50 buah
4	Tiang monopole	10 m	50 buah
5	MCB (konverter ke inverter)	8 A	50 buah
6	Kabel konverter ke inverter	NYMHY/2 x 10 mm	5 x 200 m
7	MCB (inverter ke bus turbin angin)	63 A	5 buah
Sistem kontrol			
1	<i>Programmable relay</i>	100-240V/16 input/10 output	
2	<i>Magnetic contactor</i>	380 V / 4 NO	15 buah
3	<i>Voltage detector relay</i>	304...576 V AC	2 buah
4	<i>Phase failure relay</i>	< 350 V for phase failure AC	1 buah
5	<i>Push button NO</i>	-	1 buah
6	<i>Toggle switch NO</i>	-	3 buah
Sistem starting (tambak 1-10) dan root blower			

1	<i>Push button NO</i>	-	12 buah
2	<i>Push button NC</i>	-	12 buah
3	<i>Magnetic contactor</i>	380 V / 4 NO	12 buah
4	<i>Magnetic contactor on delay</i>	380 V / 4 NO	12 buah
5	<i>Off delay relay</i>	380 V	12 buah

## 4.7 Analisa Ekonomi

Analisa ekonomi dimaksudkan untuk mengetahui apakah sistem hibrid yang di desain lebih menguntungkan secara ekonomis atau tidak. Metode yang digunakan adalah dengan menghitung besarnya nilai ARR, PP, NPV, dan IRR pada usaha budidaya udang vannamei ini.

### 4.7.1 Biaya Modal Sistem Hibrid

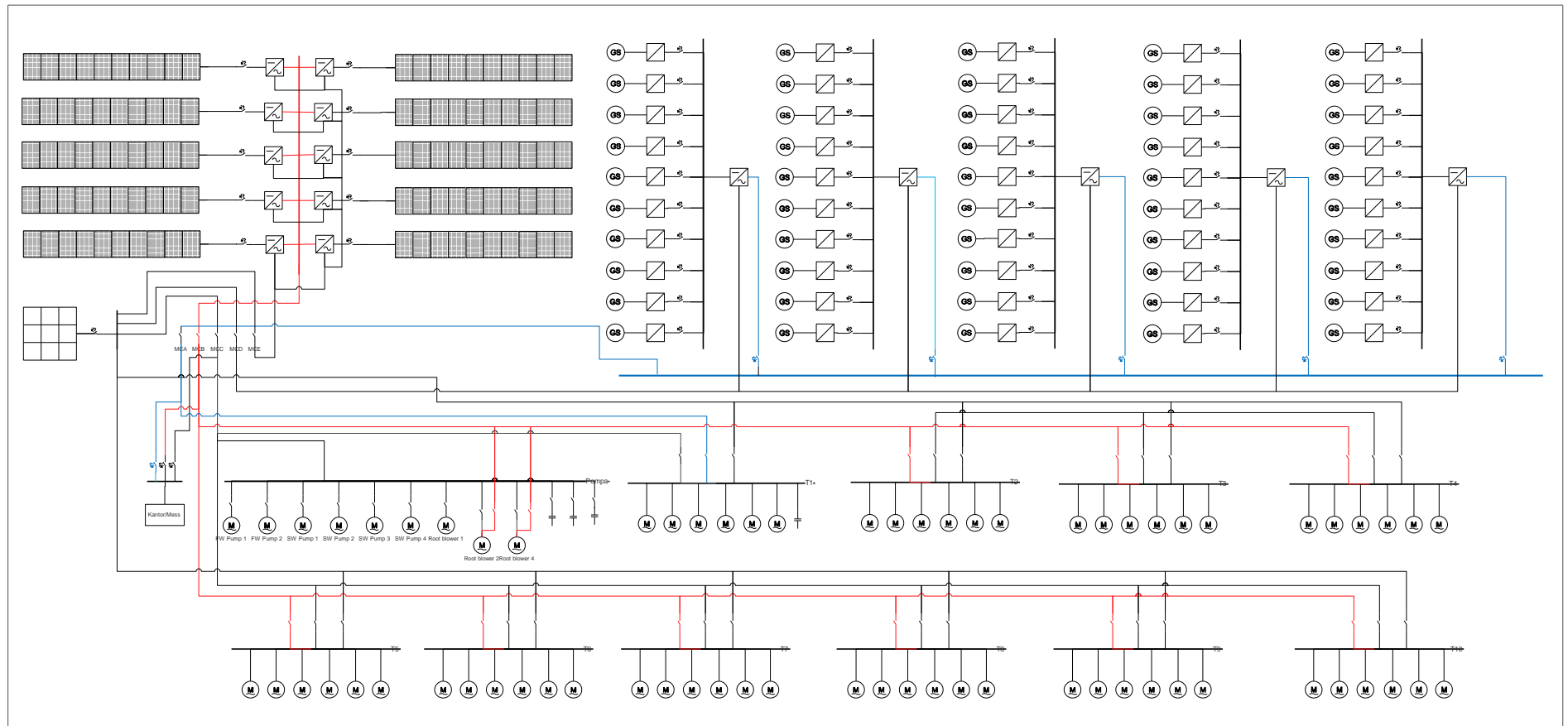
Biaya modal adalah biaya yang dikeluarkan untuk pembuatan sistem hibrid. Tabel berikut menunjukkan biaya modal dari sistem hibrid yang didesain.

Tabel 4. 23 Biaya modal sistem hibrid

No.	Komponen	Spesifikasi/Rating	Volume	Satuan	Harga	Total Harga
Panel PV						
1	Panel PV	240 WP	333	Unit	2.375.000	790.875.000
2	<i>Inverter</i>	7 KW	10	Unit	15.000.000	150.000.000
3	<i>Mounting</i>	-	10	Buah	2.000.000	20.000.000
4	Kabel Panel PV Ke Inverter	NYMHY/2 x 2,5 mm	240	Meter	12.500	3.000.000
5	MCB Modul (1 Modul = 33 Panel)	3 phase 16 A	10	Buah	279.000	2.790.000
Turbin Angin						
1	Turbin Angin	2,5 m / 1 KW	50	Unit	16.258.200	812.910.000
2	<i>Inverter</i>	1,5 KW	5	Unit	6.000.000	30.000.000
3	DC/DC Konverter	18-36 VDC/24 VDC	50	Buah	150.000	7.500.000
4	Tiang Monopole	10 m	50	Buah	12.200.000	610.000.000
5	MCB (Konverter Ke Inverter)	1 Phase 12 A	50	Buah	60.000	3.000.000

6	Kabel Konverter Ke Inverter	NYMHY/2 x 10 mm	1000	Meter	18.000	18.000.000
7	MCB (Inverter Ke Bus Turbin Angin)	3 phase 63 A	5	Buah	635.000	3.175.000
Sistem Kontrol						
1	<i>Programmable Relay</i>	100-240V/16 input/10 output	1	Unit	2.729.000	2.729.000
2	<i>Magnetic Contactor</i>	380 V / 90 KW	3	Buah	5.092.000	15.276.000
3	<i>Magnetic Contactor</i>	380 V/ 15 KW	12	Buah	425.000	5.100.000
3	<i>Voltage Detector Relay</i>	304...576 V AC	2	Buah	1.200.000	2.400.000
4	<i>Phase Failure Relay</i>	< 350 V for phase failure AC	1	Buah	625.000	625.000
5	<i>Push Button NO</i>	-	1	Buah	265.000	265.000
6	<i>Toggle Switch NO</i>	-	3	Buah	280.000	840.000
Sistem Starting (Tambak 1-10) Dan Root Blower						
1	<i>Push Button NO</i>	-	12	Buah	265.000	3.180.000
2	<i>Push Button NC</i>	-	12	Buah	265.000	3.180.000
3	<i>Magnetic Contactor</i>	380 V / 5 KW	12	Buah	175.000	2.100.000
4	<i>Magnetic Contactor On Delay</i>	380 V / 4 No. 5 KW	12	Buah	475.000	5.700.000
5	<i>Off Delay Relay</i>	380 V	12	Buah	28.000	336.000
Kapasitor Daya						
1	Kapasitor Daya	20 KVAR	2	Buah	2.477.000	4.954.000
2	Kapasitor Daya	5 KVAR	2	Buah	402.000	804.000
3	Kapasitor Daya	3 KVAR	1	Buah	180.000	180.000

Total biaya yang dibutuhkan untuk sistem hibrid adalah sebesar Rp.2.498.919.000. *Single line diagram* lengkap dari desain sistem hibrid yang telah dibuat ditunjukkan pada Gambar 4. 50.



Gambar 4. 50 *Single line diagram* sistem hibrid yang didesain

#### 4.7.2 Investasi Tambak

##### 4.7.2.1 Fix Cost

Total biaya investasi yang dikeluarkan untuk membuat tambak adalah sebesar Rp.10.655.961.702 dengan perincian yaitu ; pembelian lahan dan pembuatan tambak, kemudian perluasan tambak dan *upgrading* yaitu penambahan jumlah kolam, setelah itu investasi tahap 2 yaitu pembelian komponen, pemasangan jaringan listrik, dan pembuatan bangunan (kantor/mess), dan terakhir investasi tahap 3 yaitu berupa pembelian genset, alat laboratorium dan lainnya seperti ditunjukkan pada Tabel 4. 24.

Tabel 4. 24. *Fix Coast*

No.	Komponen Biaya	Harga (Rp)
1	Pembelian lahan dan pembuatan tambak (Januari 2015-july 2016)	4.476.438.150
2	Perluasan tambak dan <i>upgrading</i>	1.472.910.400
3	Investasi tahap 2	2.356.035.650
4	Investasi tahap 3	2.350.577.502
	Total	10.655.961.702

##### 4.7.2.2 Variable cost

*Variable cost* merupakan biaya operasional yang dikeluarkan secara rutin setiap periodenya. Besarnya *variable cost* untuk setiap periode adalah sebesar Rp. 1.034.500.000 yang secara rinci dapat dilihat pada Tabel 4. 25.

Tabel 4. 25 *Variable cost*

No.	Komponen Biaya	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)
1	Pakan	Kg / Periode	70.000	11.500	805.000.000
2	Bibit	Ekor	3.119.800	50	155.990.000
3	Obat-Obatan Dan Vitamin	Periode	1	80.000.000	80.000.000
4	Biaya Tenaga Kerja :				
	Direktur	Orang /Periode	1	30.000.000	30.000.000



	Manajer Lapangan	Orang / Periode	1	20.000.000	20.000.000
	Teknisi/Laboran/Mekanik	Orang / Periode	6	12.000.000	72.000.000
	Asisten Teknisi	Orang / Periode	12	9.000.000	108.000.000
	Security	Orang / Periode	9	9.000.000	81.000.000
	Tenaga Harian (Saat Panen)	Orang / Periode	10	1.000.000	10.000.000
	Konsumsi Karyawan	Orang / Periode	29	1.500.000	43.500.000
5	Bonus Panen :				
	Direktur	Orang / Periode	1	25.000.000	25.000.000
	Manajer Lapangan	Orang / Periode	1	15.000.000	15.000.000
	Teknisi/Laboran/Mekanik	Orang / Periode	6	10.000.000	60.000.000
	Asisten Teknisi	Orang / Periode	12	5.000.000	60.000.000
	Security	Orang / Periode	9	5.000.000	45.000.000
6	Listrik PLN	Periode	1	210.000.000	210.000.000
7	Solar	Periode	1	120.000.000	120.000.000
8	Oli Dan Spare part	Periode	1	60.000.000	60.000.000
9	Perbaikan Lahan	Periode	1	60.000.000	60.000.000
10	Lainnya	Periode	1	15.000.000	15.000.000
	Total				1.034.500.000

#### 4.7.2.3 Hasil Produksi

Pada periode April sampai dengan Agustus, rata-rata hasil produksi untuk setiap tambak adalah 5,5 ton dengan perincian yang ditunjukkan oleh tabel 4.21, 4.22, dan 4.23.

Tabel 4. 26 Hasil Panen

Petak	Parsial I (kg)	Parsial II (kg)	Parsial III (kg)	Panen akhir (kg)	Jumlah (kg)
1	761,00	773,52	811,30	3.523,69	5.869,51
2	856,50	718,57	875,00	3.015,01	5.465,08
3	753,80	705,66	735,30	2.657,92	4.852,68

4	813,32	883,70	798,00	3.521,32	6.016,34
5	730,50	809,89	648,00	2.086,84	4.275,23
6	1.029,00	909,01	856,78	2.900,13	5.694,92
7	856,82	660,50	786,40	3.023,68	5.327,40
8	934,27	903,15	738,17	3.845,13	6.420,72
9	687,31	712,62	749,60	3.012,42	5.161,95
10	807,86	767,97	803,41	3.428,78	5.808,02
<b>TOTAL</b>	<b>4.944,12</b>	<b>4.800,35</b>	<b>4.724,38</b>	<b>17.704,91</b>	<b>54.891,85</b>
Rata-rata	823,04	784,46	780,20	3.101,49	5.489,18

Tabel 4. 27 Harga udang / kg dalam rupiah

Petak	Parsial I	Parsial II	Parsial III	Panen Akhir
1	52.700,00	63.400,00	73.300,00	82.800,00
2	51.100,00	61.000,00	72.000,00	78.600,00
3	52.700,00	62.950,00	72.600,00	81.400,00
4	52.700,00	61.750,00	71.700,00	79.300,00
5	51.500,00	60.200,00	70.500,00	77.200,00
6	50.300,00	58.200,00	70.200,00	72.500,00
7	52.700,00	62.450,00	72.500,00	79.000,00
8	52.700,00	61.750,00	72.000,00	82.500,00
9	52.500,00	60.500,00	73.000,00	78.000,00
10	52.500,00	61.000,00	72.500,00	81.500,00

Tabel 4. 28 Hasil penjualan dalam rupiah

Petak	Parsial I	Parsial II	Parsial III	Panen Akhir
1	40.104.700,00	49.041.168,00	59.468.290,00	291.761.532,00
2	43.767.150,00	43.832.770,00	63.000.000,00	236.979.786,00
3	39.725.260,00	44.421.297,00	53.382.780,00	216.354.688,00
4	42.861.964,00	54.568.475,00	57.216.600,00	279.240.676,00
5	37.620.750,00	48.755.378,00	45.684.000,00	161.104.048,00
6	51.758.700,00	52.904.382,00	60.145.956,00	210.259.425,00

7	45.154.414,00	41.248.225,00	57.014.000,00	238.870.720,00
8	49.236.029,00	55.769.512,50	53.148.240,00	317.223.225,00
9	36.083.775,00	43.113.510,00	54.720.800,00	234.968.760,00
10	42.412.650,00	46.846.170,00	58.247.225,00	279.445.162,50
Total	428.725.392,00	480.500.887,50	562.027.891,00	2.466.208.022,50

#### 4.7.3 Analisa Kelayakan Finansial *Full Grid*

Investasi pada usaha budidaya udang vannamei milik MSA *Farm* ini adalah sebesar Rp. 10.655.961.800,- dengan sumber dana berasal dari simpanan pribadi. Keuntungan yang disyaratkan adalah sebesar 10%, dan penyusutan dihitung dengan metode garis lurus (tetap) dengan nilai residu Rp. 500.000.000,- dengan usia ekonomis 15 tahun. Biaya operasional pada usaha ini setiap tahunnya ditingkatkan sebesar 3,4%. Besarnya *cashflow* (*full grid*) untuk setiap tahunnya ditunjukkan pada Tabel 4.29, 4.30, dan 4.31.

##### 4.7.3.1 *Accounting of Return (ARR) Full Grid*

Berdasarkan formula 3.4, besarnya ARR pada usaha budidaya udang vannamei tanpa sistem hibrid adalah sebesar 96,32%

##### 4.7.3.2 *Payback Periode (PP) Full Grid*

Karena *cashflow* dari usaha budidaya udang vannamei ini tidak sama setiap tahunnya maka cara menghitung PP dilakukan dengan cara berikut.

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Investasi} & & 10.655.961.702 \\
 \text{Cashflow Tahun 1} & & 6.462.051.751 \\
 & \hline
 & & 4.193.909.951 \\
 \text{Cashflow Tahun 2} & & 6.328.614.751 \\
 PP = 2th + \frac{4.193.909.951}{6.356.532.751} \times 1tahun & = & 2,6 \text{ tahun}
 \end{array}$$

##### 4.7.3.3 *Net Present Value (NPV) Full Grid*

NPV seperti ditunjukkan pada tabel Tabel 4. 29 dihitung dengan cara menghitung selisih antara *Present value* dari *cashflow* dengan nilai sekarang dari investasi. Besarnya NPV dari usaha budidaya udang vannamei tanpa sistem hibrid

dapat dihitung dengan cara berikut. Besarnya *discount rate* (dr) yang ditentukan untuk menghitung NPV adalah 10%.

Tabel 4. 29 NPV

Tahun Ke	<i>Cashflow</i>	dr (10%)	PV
1	6.435.051.751	0,909	5.850.047.046
2	6.328.614.751	0,826	5.230.260.125
3	6.218.558.893	0,751	4.672.095.337
4	6.104.761.136	0,683	4.169.633.997
5	5.987.094.255	0,621	3.717.514.486
6	5.865.426.700	0,564	3.310.880.461
7	5.739.622.448	0,513	2.945.333.855
8	5.609.540.852	0,467	2.616.892.207
9	5.475.036.481	0,424	2.321.949.932
10	5.335.958.962	0,386	2.057.243.171
11	5.192.152.807	0,350	1.819.817.884
12	5.043.457.243	0,319	1.607.000.906
13	4.889.706.030	0,290	1.416.373.664
14	4.730.727.276	0,263	1.245.748.347
15	4.566.343.243	0,239	1.093.146.267
Total PV Cashflow			44.073.937.685
PV investasi			10.655.961.702
NPV			33.417.975.983

Besarnya NPV pada usaha budidaya udang vannamei tanpa sistem hibrid adalah sebesar Rp. 33.417.975.983 dan bernilai positif yang berarti usaha ini layak.

#### 4.7.3.4 *Internal Rate of Return (IRR) Full Grid*

IRR adalah tingkat discount rate yang dapat menyamakan antara PV dari *cashflow* dengan PV dari investasi atau dengan kata lain IRR adalah discount rate yang membuat NPV sama dengan nol atau mendekati nol. Jika IRR lebih besar dari *discount rate* NPV maka usaha ini layak dilanjutkan atau menguntungkan. Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan *software* Excel, besarnya IRR dari usaha ini adalah sebesar 58,5% yang berarti lebih besar dari *discount rate* yang ditentukan yaitu sebesar 10%.

#### 4.7.3.5 Cashflow Full Grid

Tabel 4. 30 *Cashflow Full Grid* (Tahun 1-6)

No.	keterangan	Estimasi Perhitungan Rugi Laba Dan Cashflow							
		Periode	Nilai / Periode (Rp)	Tahun 1	Tahun 2	Tahun 3	Tahun 4	Tahun 5	Tahun 6
1	Hasil Produksi	3 panen	3.937.462.193	11.812.386.579	11.812.386.579	11.812.386.579	11.812.386.579	11.812.386.579	11.812.386.579
2	A. Biaya Operasional	3 Periode	1.043.500.000	3.130.500.000	3.236.937.000	3.346.992.858	3.460.790.615	3.578.457.496	3.700.125.051
	B. Penyusutan	1 tahun	677.064.113	677.064.113	677.064.113	677.064.113	677.064.113	677.064.113	677.064.113
Total Biaya				3.807.564.113	3.914.001.113	4.024.056.971	4.137.854.729	4.255.521.610	4.377.189.164
Laba Sebelum Bunga Dan Pajak				8.004.822.465,53	7.898.385.466	7.788.329.608	7.674.531.850	7.556.864.969	7.435.197.415
Bunga Modal (10% Dari Investasi)				1.065.596.170	1.065.596.170	1.065.596.170	1.065.596.170	1.065.596.170	1.065.596.170
Laba Sebelum Pajak				6.939.226.295,33	6.832.789.295	6.722.733.437	6.608.935.680	6.491.268.799	6.369.601.244
Pajak				1.181.238.658	1.181.238.658	1.181.238.658	1.181.238.658	1.181.238.658	1.181.238.658
Laba Setelah Pajak				5.757.987.637,43	5.651.550.637	5.541.494.779	5.427.697.022	5.310.030.141	5.188.362.586
Penyusutan				677.064.113	677.064.113	677.064.113	677.064.113	677.064.113	677.064.113
<i>Cashflow</i>				6.435.051.750,90	6.328.614.751	6.218.558.893	6.104.761.136	5.987.094.255	5.865.426.700

Tabel 4. 31 *Cashflow Full Grid* (Tahun ke 7-12)

No.	keterangan	Estimasi Perhitungan Rugi Laba Dan Cashflow							
		Periode	Nilai / Periode (Rp)	Tahun 7	Tahun 8	Tahun 9	Tahun 10	Tahun 11	Tahun 12
1	Hasil Produksi	3 Panen	3.937.462.193,00	11.812.386.579	11.812.386.579	11.812.386.579	11.812.386.579	11.812.386.579	11.812.386.579
2	A. Biaya Operasional	3 Periode	1.034.500.000	3.825.929.303	3.956.010.899	4.090.515.270	4.229.592.789	4.373.398.944	4.522.094.508
	B. Penyusutan	1 Tahun	677.064.113	677.064.113	677.064.113	677.064.113	677.064.113	677.064.113	677.064.113
Total Biaya				4.469.995.463	4.598.955.129	4.732.299.424	4.906.656.902	5.050.463.057	5.199.158.621
Laba Sebelum Bunga Dan Pajak				7.342.391.116	7.213.431.450	7.080.087.155	6.905.729.677	6.761.923.522	6.613.227.958
Bunga Modal (10% Dari Investasi)				1.065.596.170	1.065.596.170	1.065.596.170	1.065.596.170	1.065.596.170	1.065.596.170
Laba Sebelum Pajak				6.276.794.945	6.147.835.280	6.014.490.985	5.840.133.507	5.696.327.352	5.547.631.788
Pajak				1.181.238.658	1.181.238.658	1.181.238.658	1.181.238.658	1.181.238.658	1.181.238.658
Laba Setelah Pajak				5.095.556.288	4.966.596.622	4.833.252.327	4.658.894.849	4.515.088.694	4.366.393.130
Penyusutan				677.064.113	677.064.113	677.064.113	677.064.113	677.064.113	677.064.113
<i>Cashflow</i>				5.772.620.401	5.643.660.735	5.510.316.441	5.335.958.962	5.192.152.807	5.043.457.243

Tabel 4. 32 *Cashflow Full Grid* (Tahun ke13-15)

No.	keterangan	Estimasi Perhitungan Rugi Laba Dan Cashflow				
		Periode	Nilai / Periode (Rp)	Tahun 13	Tahun 14	Tahun 15
1	Hasil Produksi	3 panen	3.937.462.193,00	11.812.386.579	11.812.386.579	11.812.386.579
2	A. Biaya Operasional	3 Periode	1.034.500.000	4.675.845.721	4.834.824.475	4.999.208.508
	B. Penyusutan	1 tahun	677.064.113	677.064.113	677.064.113	677.064.113
Total Biaya				5.352.909.834	5.511.888.589	5.676.272.621
Laba Sebelum Bunga Dan Pajak				6.459.476.745	6.300.497.990	6.136.113.958
Bunga Modal (10% Dari Investasi)				1.065.596.170	1.065.596.170	1.065.596.170
Laba Sebelum Pajak				5.393.880.574	5.234.901.820	5.070.517.788
Pajak				1.181.238.658	1.181.238.658	1.181.238.658
Laba Setelah Pajak				4.212.641.917	4.053.663.162	3.889.279.130
Penyusutan				677.064.113	677.064.113	677.064.113
<i>Cashflow</i>				4.889.706.030	4.730.727.276	4.566.343.243

#### 4.7.4 Analisa Kelayakan Finansial Dengan Sistem Hibrid

Besarnya investasi pada usaha budidaya udang vannamei milik MSA Farm jika menggunakan sistem hibrid adalah sebesar Rp. 13.154.880.702,-. Penyusutan dihitung dengan metode garis lurus (tetap) dengan nilai residu Rp. 800.000.000,- dengan usia ekonomis 15 tahun. Biaya operasional pada usaha ini setiap tahunnya ditingkatkan sebesar 3,4%. Besarnya *cashflow* (*full grid*) untuk setiap tahunnya ditunjukkan pada Tabel 4.33, 4.34, dan 4.35.

##### 4.7.4.1 *Accounting Rate of Return (ARR) Hibrid*

Berdasarkan formula 3.4, besarnya ARR pada usaha budidaya udang vannamei tanpa sistem hibrid adalah sebesar 73,39%.

##### 4.7.4.2 *Payback Periode (PP) Hibrid*

Karena *cashflow* dari usaha budidaya udang vannamei ini tidak sama setiap tahunnya maka cara menghitung PP dilakukan dengan cara berikut.

Investasi	13.154.880.702
<i>Cashflow</i> Tahun 1	<u>6.852.720.851</u>
	6.876.580.951
<i>Cashflow</i> Tahun 2	<u>6.199.700.851</u>
	653.020.000
<i>Cashflow</i> Tahun 3	6.093.758.245

$$PP = 3 + \left( \frac{6.199.700.851}{6.093.758.245} \right) \times 1 \text{ tahun} = 3,11 \text{ tahun}$$



#### 4.7.4.3 Cashflow Hibrid

Tabel 4. 33 *Cashflow Hibrid* (Tahun ke 1-6)

No.	Keterangan	Estimasi Perhitungan Rugi Laba Dan Cashflow			Tahun 2	Tahun 3	Tahun 4	Tahun 5	Tahun 6
		Periode	Nilai / Periode (Rp)	Tahun 1					
1	Hasil Produksi	3 Panen	3.937.462.193	11.812.386.579	11.812.386.579	11.812.386.579	11.812.386.579	11.812.386.579	11.812.386.579
2	A. Biaya Operasional	3 Periode	1.004.500.000	3.013.500.000	3.013.500.000	3.013.500.000	3.013.500.000	3.013.500.000	3.013.500.000
	B. Penyusutan	1 Tahun	823.658.713	823.658.713	823.658.713	823.658.713	823.658.713	823.658.713	823.658.713
Total Biaya				3.837.158.713	3.939.617.713	4.045.560.319	4.155.104.974	4.268.374.147	4.385.494.472
Laba Sebelum Bunga Dan Pajak				7.975.227.865,53	7.872.768.866	7.766.826.260	7.657.281.605	7.544.012.432	7.426.892.107
Bunga Modal (10% Dari Investasi)				1.315.488.070	1.315.488.070	1.315.488.070	1.315.488.070	1.315.488.070	1.315.488.070
Laba Sebelum Pajak				6.659.739.795,33	6.557.280.795	6.451.338.189	6.341.793.535	6.228.524.362	6.111.404.037
Pajak (10% Dari Produksi)				1.181.238.658	1.181.238.658	1.181.238.658	1.181.238.658	1.181.238.658	1.181.238.658
Laba Setelah Pajak				5.478.501.137,43	5.376.042.137	5.270.099.531	5.160.554.877	5.047.285.704	4.930.165.379
Penyusutan				823.658.713	823.658.713	823.658.713	823.658.713	823.658.713	823.658.713
<i>Cashflow</i>				6.302.159.851	6.197.531.751	6.091.589.145	5.982.044.490	5.868.775.317	5.753.824.093

Tabel 4. 34 *Cashflow Hibrid* (Tahun ke 7-12)

No.	Keterangan	Estimasi Perhitungan Rugi Laba Dan Cashflow							
		Periode	Nilai / Periode (Rp)	Tahun 7	Tahun 8	Tahun 9	Tahun 10	Tahun 11	Tahun 12
1	Hasil Produksi	3 Panen	3.937.462.193	11.812.386.579	11.812.386.579	11.812.386.579	11.812.386.579	11.812.386.579	11.812.386.579
2	A. Biaya Operasional	3 Periode	1.004.500.000	3.682.938.174	3.808.158.072	3.937.635.446	4.071.515.052	4.209.946.563	4.353.084.746
	B. Penyusutan	1 Tahun	823.658.713	823.658.713	823.658.713	823.658.713	823.658.713	823.658.713	823.658.713
Total Biaya				4.506.596.887	4.631.816.785	4.761.294.160	4.895.173.765	5.033.605.277	5.176.743.460
Laba Sebelum Bunga Dan Pajak				7.305.789.692	7.180.569.794	7.051.092.419	6.917.212.814	6.778.781.302	6.635.643.119
Bunga Modal (10% Dari Investasi)				1.315.488.070	1.315.488.070	1.315.488.070	1.315.488.070	1.315.488.070	1.315.488.070
Laba Sebelum Pajak				5.990.301.621	5.865.081.723	5.735.604.349	5.601.724.744	5.463.293.232	5.320.155.049
Pajak				1.181.238.658	1.181.238.658	1.181.238.658	1.181.238.658	1.181.238.658	1.181.238.658
Laba Setelah Pajak				4.809.062.963	4.683.843.066	4.554.365.691	4.420.486.086	4.282.054.574	4.138.916.391
Penyusutan				823.658.713	823.658.713	823.658.713	823.658.713	823.658.713	823.658.713
<i>Cashflow</i>				5.632.721.677	5.507.501.779	5.378.024.405	5.244.144.799	5.105.713.288	4.962.575.104

Tabel 4. 35 *Cashflow Hibrid* (Tahun ke 13-15)

No.	Keterangan	Estimasi Perhitungan Rugi Laba Dan Cashflow			Tahun 14	Tahun 15
		Periode	Nilai / Periode (Rp)	Tahun 13		
1	Hasil Produksi	3 Panen	3.937.462.193	11.812.386.579	11.812.386.579	11.812.386.579
2	A. Biaya Operasional	3 Periode	1.004.500.000	4.501.089.628	4.654.126.675	4.812.366.982
	B. Penyusutan	1 Tahun	823.658.713	823.658.713	823.658.713	823.658.713
Total Biaya				5.324.748.341	5.477.785.389	5.636.025.696
Laba Sebelum Bunga Dan Pajak				6.487.638.238	6.334.601.190	6.176.360.883
Bunga Modal (10% Dari Investasi)				1.315.488.070	1.315.488.070	1.315.488.070
Laba Sebelum Pajak				5.172.150.168	5.019.113.120	4.860.872.813
Pajak				1.181.238.658	1.181.238.658	1.181.238.658
Laba Setelah Pajak				3.990.911.510	3.837.874.462	3.679.634.155
Penyusutan				823.658.713	823.658.713	823.658.713
<i>Cashflow</i>				4.814.570.223	4.661.533.176	4.503.292.869

#### 4.7.4.4 Net Present Value (NPV) Hibrid

NPV dihitung dengan cara menghitung selisih antara *Present value* dari *cashflow* dengan nilai sekarang dari investasi. Besarnya NPV dari usaha budidaya udang vannamei tanpa sistem hibrid dapat dihitung dengan cara berikut. Besarnya discount rate (dr) yang ditentukan untuk menghitung NPV adalah 10%.

Tabel 4. 36 NPV dengan sistem hibrid

Tahun Ke	Cashflow	dr (10%)	PV
1	6.302.159.851	0,909	5.729.236.228
2	6.199.700.851	0,826	5.123.719.711
3	6.093.758.245	0,751	4.578.330.763
4	5.984.213.590	0,683	4.087.298.402
5	5.870.944.417	0,621	3.645.394.575
6	5.753.824.093	0,564	3.247.883.698
7	5.632.721.677	0,513	2.890.476.856
8	5.507.501.779	0,467	2.569.290.226
9	5.378.024.405	0,424	2.280.807.342
10	5.244.144.799	0,386	2.021.844.836
11	5.105.713.288	0,350	1.789.521.360
12	4.962.575.104	0,319	1.581.229.363
13	4.814.570.223	0,290	1.394.609.497
14	4.661.533.176	0,263	1.227.527.378
15	4.503.292.869	0,239	1.078.052.509
Total PV Cashflow			43.245.222.746
PV investasi			13.154.880.702,0
NPV			30.090.342.044

Besarnya NPV pada usaha budidaya udang vannamei tanpa sistem hibrid adalah sebesar Rp. 30.090.342.044 dan bernilai positif yang berarti usaha ini layak.

#### 4.7.4.5 Internal Rate of Return (IRR) Hibrid

Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan *software* Excel, besarnya IRR dari usaha ini adalah sebesar 57,3% yang berarti lebih besar dari *discount rate* yang ditentukan yaitu sebesar 10%.

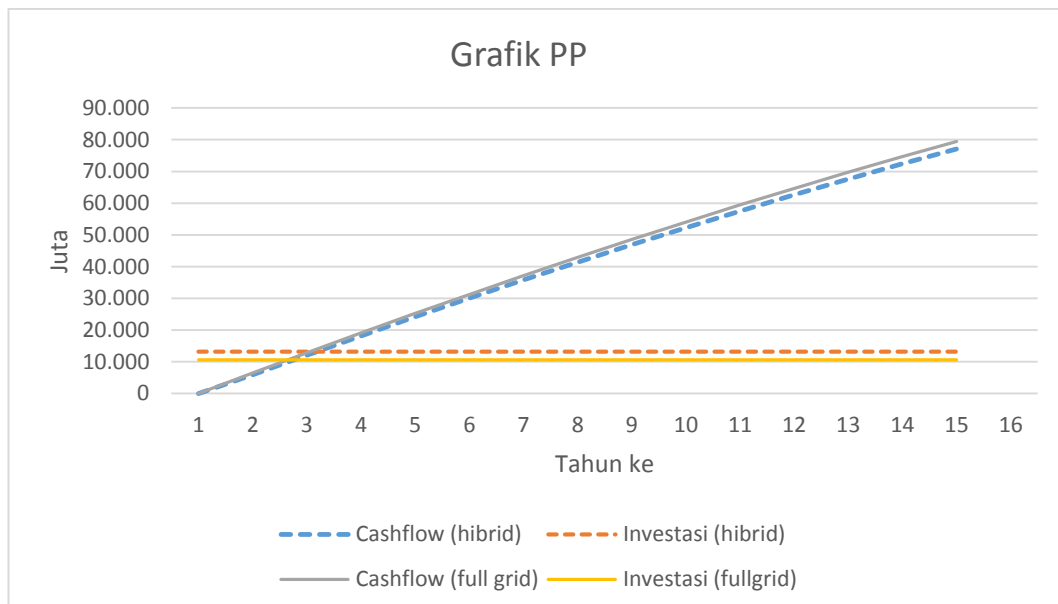
#### 4.7.5 Perbandingan Analisa Ekonomi Antara Penggunaan Listrik *Full Grid* Dengan Hibrid

Dari hasil analisa ekonomi yaitu ARR, PP, NPV, dan IRR dapat diketahui bahwa usaha budidaya udang vannamei dengan menggunakan listrik *full grid* dan hibrid adalah menguntungkan dengan perincian yang ditunjukkan pada Tabel 4. 37.

Tabel 4. 37 Perbandingan antara penggunaan listrik *full grid* dengan hibrid

Analisa ekonomi	<i>Full grid</i>	Hibrid
ARR	96,32%	73,39%
PP	2,6 tahun	3,11 tahun
NPV	Rp. 33.417.975.981	Rp. 30.090.342.044
IRR	58,8%	57,3%

Grafik *payback periode* (PP) sistem *full grid* dan *hibrid* ditunjukkan pada Gambar 4. 51.



Gambar 4. 51 Grafik *payback periode* (PP) sistem *full grid* dan *hibrid*

#### 4.7.6 Analisa Kelayakan Finansial Dengan Sistem Full Grid (Pada Kenaikan Tarif 25%)

Sebuah riset dari lembaga internasional *The Institute for Energy Economics and Financial Analysis* (IEEFA) mengatakan kemungkinan tarif yang dikenakan kepada pelanggan dari PT. PLN akan naik 25% pada tahun 2020. Dari hasil riset yang dilakukan oleh Melissa Brown dan Elrika Amdi (Brown and Amdi 2020) dapat disimpulkan bahwa tarif listrik yang akan diberlakukan kepada pelanggan kemungkinan besar akan naik. Maka dari itu, analisa kelayakan finansial usaha budidaya udang vannamei ini dilakukan juga pada kenaikan tarif listrik sebesar 25%

Harga listrik per KWH untuk LWBP (lewat waktu beban puncak) jam 22.00 sampai dengan jam 17.00 adalah Rp 972,- dan WBP (waktu beban puncak) jam 17.00 sampai dengan jam 22.00 adalah Rp 1.458,-. Jika tarif naik menjadi 25% maka harga per KWH untuk LWBP adalah Rp 1.215,- dan untuk WBP menjadi Rp 1.823,- maka tarif listrik yang harus dibayarkan ditunjukkan pada Tabel 4. 38.

Tabel 4. 38 Perbandingan biaya listrik sebelum dan sesudah kenaikan tarif

Hari ke 1		Sebelum	Sesudah
	LWBP (22.00-17.00)	Rp 13.122,-	Rp 16.403,-
	WBP (17.00-22.00)	Rp 1.237.113,-	Rp 1.546.816,-
Hari ke 2-31	LWBP (22.00-17.00)	Rp 388.314,-	Rp 485.393,-
	WBP (17.00-22.00)	Rp 1.993.815,-	Rp 2.492.953,-

Biaya tagihan listrik yang harus dikeluarkan dalam 1 bulan adalah sebesar : Rp 90.913.599,-

##### 4.7.6.1 *Accounting Rate of Return (ARR) Full Grid (Pada kenaikan tarif 25%)*

Berdasarkan formula 3.4, besarnya ARR pada usaha budidaya udang vannamei tanpa sistem hibrid adalah sebesar 93,04%.

##### 4.7.6.2 *Payback Periode (PP) Full Grid (Pada kenaikan tarif 25%)*

Karena *cashflow* dari usaha budidaya udang vannamei ini tidak sama setiap tahunnya maka cara menghitung PP dilakukan dengan cara berikut.

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Investasi} & & 10.655.961.702 \\
 \text{Cashflow Tahun 1} & & 6.304.551.751 \\
 & & \hline
 & & 4.351.409.951 \\
 \text{Cashflow Tahun 2} & & 6.193.677.751 \\
 PP = 2 + \left( \frac{4.351.409.951}{6.193.677.751} \right) \times 1 \text{ tahun} & = & 2,7 \text{ tahun}
 \end{array}$$

#### 4.7.6.3 Net Present Value (NPV) Full Grid (Pada kenaikan tarif 25%)

NPV dihitung dengan cara menghitung selisih antara *Present value* dari *cashflow* dengan nilai sekarang dari investasi. Besarnya NPV dari usaha budidaya udang vannamei tanpa sistem hibrid dapat dihitung dengan cara berikut. Besarnya discount rate (dr) yang ditentukan untuk menghitung NPV adalah 10%.

Tabel 4. 39 NPV dengan sistem *full grid* (pada kenaikan tarif 25%)

Tahun Ke	Cashflow	dr (10%)	PV
1	6.304.551.751	0,909	5.731.410.683
2	6.193.677.751	0,826	5.118.741.943
3	6.079.034.035	0,751	4.567.268.246
4	5.960.492.433	0,683	4.071.096.532
5	5.837.920.416	0,621	3.624.889.268
6	5.711.180.950	0,564	3.223.812.756
7	5.580.132.343	0,513	2.863.490.213
8	5.444.628.083	0,467	2.539.959.183
9	5.304.516.679	0,424	2.249.632.890
10	5.159.641.486	0,386	1.989.265.151
11	5.009.840.537	0,350	1.755.918.546
12	4.854.946.356	0,319	1.546.935.527
13	4.694.785.772	0,290	1.359.912.209
14	4.529.179.729	0,263	1.192.674.579
15	4.357.943.080	0,239	1.043.256.925
Total PV Cashflow			42.878.264.650
PV Investasi			10.655.961.702
NPV			32.222.302.948

Besarnya NPV pada usaha budidaya udang vannamei dengan penggunaan listrik full grid pada kenaikan tarif sebesar 25% adalah sebesar Rp. 32.222.302.948 dan bernilai positif yang berarti usaha ini layak.

#### 4.7.6.4 Internal Rate of Return (IRR) Hibrid

Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan *software* Excel, besarnya IRR dari usaha ini adalah sebesar 57,2% yang berarti lebih besar dari *discount rate* yang ditentukan yaitu sebesar 10%.

#### 4.7.7 Analisa Kelayakan Finansial Dengan Sistem Hibrid (Pada Kenaikan Tarif 25%)

Besarnya biaya listrik yang dikeluarkan jika menggunakan sistem hibrid dengan tarif PLN yang meningkat 25% ditunjukkan pada Tabel 4. 40.

Tabel 4. 40 Biaya listrik pada sistem hibrid pada kenaikan tarif 25%

Hari ke 1	LWBP (22.00-17.00)	13,5 KWH	Rp 16.403,-
	WBP (17.00-22.00)	-	-
Hari ke 2-31	LWBP (22.00-17.00)	399,5 KWH	Rp 485.393,-
	WBP (17.00-22.00)	-	-

Biaya tagihan listrik yang dapat dihemat dalam 1 bulan adalah sebesar : Rp 14.578.193. sehingga biaya listrik yang harus dikeluarkan menjadi Rp 76.335.406

##### 4.7.7.1 Accounting Rate of Return (ARR) Full Grid (Pada kenaikan tarif 25%)

Berdasarkan formula 3.4, besarnya ARR pada usaha budidaya udang vannamei tanpa sistem hibrid adalah sebesar 70,43%.

##### 4.7.7.2 Payback Periode (PP) Full Grid (Pada kenaikan tarif 25%)

Karena *cashflow* dari usaha budidaya udang vannamei ini tidak sama setiap tahunnya maka cara menghitung PP dilakukan dengan cara berikut.

Investasi	13.154.880.702
Cashflow Tahun 1	6.155.141.197
	<hr/>
	6.999.739.505
Cashflow Tahun 2	6.047.683.563
	<hr/>
	952.055.942
Cashflow Tahun 3	5.936.572.369
$PP = 2 + \left( \frac{952.055.942}{5.936.572.369} \right) \times 1 \text{ tahun} = 3,16 \text{ tahun}$	



#### 4.7.7.3 Net Present Value (NPV) Hibrid (Pada kenaikan tarif 25%)

NPV dihitung dengan cara menghitung selisih antara *Present value* dari *cashflow* dengan nilai sekarang dari investasi. Besarnya NPV dari usaha budidaya udang vannamei tanpa sistem hibrid dapat dihitung dengan cara berikut. Besarnya discount rate (dr) yang ditentukan untuk menghitung NPV adalah 10%.

Tabel 4. 41 NPV pada sistem hibrid (pada kenaikan tarif 25%)

Tahun Ke	Cashflow	dr (10%)	PV
1	6.155.141.197	0,909	5.595.582.906
2	6.047.683.563	0,826	4.998.085.589
3	5.936.572.369	0,751	4.460.234.687
4	5.821.683.394	0,683	3.976.288.091
5	5.702.888.195	0,621	3.541.044.883
6	5.580.053.959	0,564	3.149.794.988
7	5.453.043.358	0,513	2.798.273.468
8	5.321.714.398	0,467	2.482.619.042
9	5.185.920.252	0,424	2.199.336.428
10	5.045.509.106	0,386	1.945.262.177
11	4.900.323.980	0,350	1.717.533.661
12	4.750.202.561	0,319	1.513.560.926
13	4.594.977.013	0,290	1.331.001.166
14	4.434.473.797	0,263	1.167.735.547
15	4.268.513.471	0,239	1.021.848.188
Total PV Cashflow			41.898.201.749
PV Investasi			13.154.880.702
NPV			28.743.321.047

Besarnya NPV pada usaha budidaya udang vannamei dengan penggunaan listrik full grid pada kenaikan tarif sebesar 25% adalah sebesar Rp. 28.743.321.047 dan bernilai positif yang berarti usaha ini layak.

#### 4.7.7.4 Internal Rate of Return (IRR) Hibrid (Pada kenaikan tarif 25%)

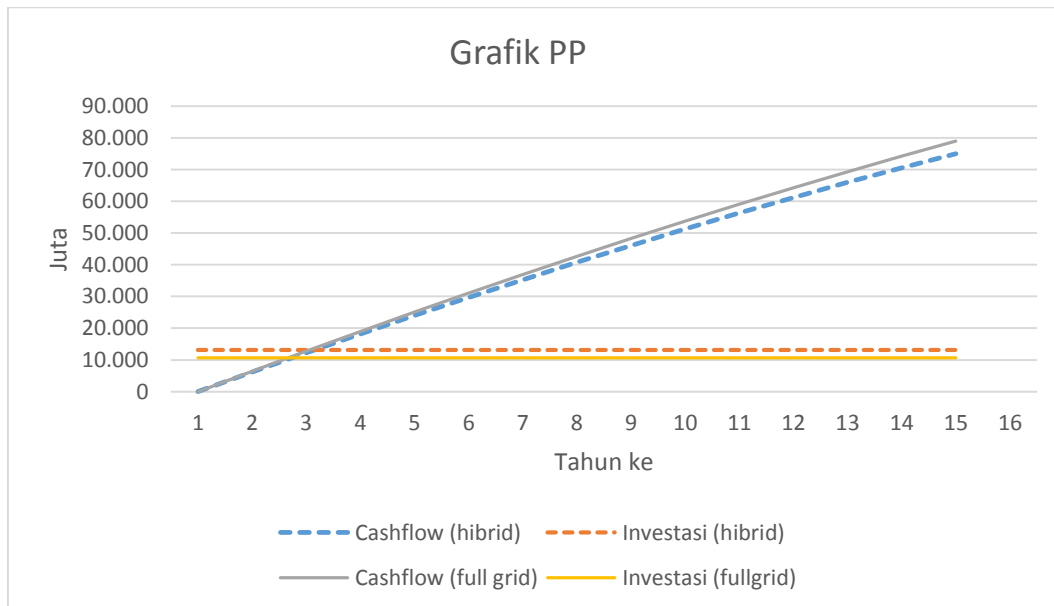
Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan *software* Excel, besarnya IRR dari usaha ini adalah sebesar 56% yang berarti lebih besar dari *discount rate* yang ditentukan yaitu sebesar 10%.

#### 4.7.8 Perbandingan Analisa Ekonomi Antara Penggunaan Listrik Full Grid Dengan Hibrid (Kenaikan tarif 25%)

Dari hasil analisa ekonomi yaitu ARR, PP, NPV, dan IRR dapat diketahui bahwa usaha budidaya udang vannamei dengan menggunakan listrik *full grid* dan hibrid adalah menguntungkan dengan perincian yang ditunjukkan pada Tabel 4. 42. Tabel 4. 42 Perbandingan Analisa Ekonomi Antara Penggunaan Listrik Full Grid Dengan Hibrid (Kenaikan tarif 25%)

Analisa ekonomi	<i>Full grid</i>	Hibrid
ARR	93,04%	70,43%
PP	2,7 tahun	3,16 tahun
NPV	Rp. 32.222.302.948	Rp. 28.743.321.047
IRR	57,2%	56%

Grafik *payback periode* (PP) sistem *full grid* dan *hibrid* pada kenaikan tarif 25% ditunjukkan pada Gambar 4. 52.



Gambar 4. 52 Grafik *payback periode* (PP) sistem *full grid* dan *hibrid* (pada kenaikan tarif 25%)

## BAB 5

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dalam pelaksanaan perancangan sistem hibrid panel PV dan turbin angin interkoneksi dengan *grid* dalam pembahasan pada Bab 4, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Rancangan sistem hibrid panel PV dan turbin angin yang telah berhasil dilakukan dan dapat diimplementasikan dengan melakukan konfigurasi sumber daya listrik dan pembagian beban.
2. Berdasarkan analisa kelistrikan yang dilakukan yaitu analisa *load flow* dan analisa *starting motor*, pada saat sumber daya listrik yang digunakan adalah sumber daya listrik panel PV dan turbin angin tidak mampu digunakan untuk melakukan *starting* pada beban motor listrik, sehingga pada saat *starting* sumber daya listrik yang digunakan adalah *grid*.
3. Dari hasil analisa ekonomi didapatkan kesimpulan sebagai berikut :
  - 3.1. Usaha budidaya udang vannamei yang menggunakan sistem *full grid* akan mendapatkan tingkat ARR sebesar 96,2% dengan waktu pengembalian modal (*payback periode*) selama 2,6 tahun. Besarnya NPV yang diperoleh adalah sebesar Rp. 33.417.975.981 dengan tingkat IRR sebesar 58,8%.
  - 3.2. Jika menggunakan sistem hibrid, tingkat ARR yang didapatkan adalah sebesar 73,39% dengan waktu pengembalian modal (*payback periode*) selama 3,11 tahun dengan tingkat IRR sebesar 57,3%. Besarnya NPV yang diperoleh adalah sebesar Rp. 30.090.342.044 dengan tingkat IRR sebesar 57,3% yang berarti jika menggunakan sistem hibrid, usaha budidaya udang ini masih menguntungkan.
  - 3.3. Dengan kenaikan tarif listrik 25 %, jika menggunakan listrik *full grid* maka usaha budidaya udang vannamei ini akan mendapatkan tingkat ARR sebesar 93,04% dengan waktu pengembalian modal (*payback periode*) selama 2,7 tahun. Besarnya NPV yang diperoleh Rp. 32.222.302.948 dengan tingkat IRR sebesar 57,2%.
  - 3.4. Jika menggunakan sistem hibrid dengan kenaikan tarif listrik sebesar 25%, besarnya ARR yang didapatkan adalah sebesar 70,43% dengan waktu

pengembalian modal (*payback periode*) selama 3,16 tahun. Besarnya NPV yang diperoleh adalah sebesar Rp. 28.743.321.047 dengan tingkat IRR sebesar 70,43%. Dari hasil analisa ekonomi, dengan kenaikan tarif sebesar 25% usaha budidaya udang ini masih menguntungkan.

4. Jika 1 KWH energi listrik yang digunakan sama dengan emisi (CO<sub>2</sub>) sebesar 1,05 Kg sesuai dengan riset yang dilakukan oleh Rizki Firmansyah Setya Budi dan Suparman, maka jika tambak dioperasikan dengan menggunakan listrik *full grid* untuk setiap periode menghasilkan emisi sebesar 169.669,8 Kg. Jika menggunakan sistem hibrid, emisi yang dihasilkan untuk setiap periode adalah sebesar 37.795,3 Kg

## DAFTAR PUSTAKA

- Adejumobi, I A, S G Oyagbinrin, F G Akinboro, M B Olajide, and Ogun State. 2011. "HYBRID SOLAR AND WIND POWER : AN ESSENTIAL FOR INFORMATION COMMUNICATION TECHNOLOGY" 9 (October): 130–38.
- Anonymous. 2018. "Eritroblastosis Fetalis - Wikipedia Bahasa Indonesia, Ensiklopedia Bebas." 2018. [https://id.wikipedia.org/wiki/Power\\_inverter](https://id.wikipedia.org/wiki/Power_inverter).
- Apollo Ametek Solar. 2018. "1500W 24V Solar Wind Hybrid Charge Controller for Air-X Apollo Ametek Solar | EBay." 2018. <https://www.ebay.com/itm/1500W-24V-Solar-Wind-Hybrid-Charge-Controller-for-Air-X-Apollo-Ametek-Solar-/360667303890>.
- Arsana, I Nengah. 2014. "Analisis Kelayakan Finansial Usaha Budidaya Udang Vannamei Oleh Mumbulsari Aquaculture Di Desa Mumbulsari Kecamatan Bayan, Kabupaten Lombok Utara."
- BPS. 2015. "Badan Pusat Statistik." 2015. <https://www.bps.go.id/statictable/2014/09/08/1015/ekspor-udang-menurut-negara-tujuan-utama-2000-2015.html>.
- BPX. n.d. "21180 | SCHNEIDER RCP PHASE FAILURE RELAY | BPX." Accessed November 7, 2018. <https://www.bpx.co.uk/store/category/53/product/21180.aspx>.
- Brown, Melissa, and Erika Amdi. 2020. "Research Brief : PLN ' s Coal IPP Funding Gap Suggests Tariffs Must Rise in 2020," no. May 2018.
- Budi, Rizki Firmansyah Setya, and Suparman. 2013. "Perhitungan Faktor Emisi Co 2." *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir* 15: 1–8. <https://doi.org/10.21276/sjams>.
- Burdny, Rob. n.d. "Fixing Wind-Turbine Gearbox Problems." Accessed June 5, 2018. <http://www.machinedesign.com/mechanical-drives/fixing-wind-turbine-gearbox-problems>.

- Camelia Mohani Edy Yulianto Kholid Mawardi, Vega M. 2016. "PENGARUH JUMLAH PRODUKSI UDANG INDONESIA, HARGA UDANG INTERNASIONAL, DAN NILAI TUKAR RUPIAH TERHADAP EKSPOR UDANG INDONESIA (Studi Volume Ekspor Udang Indonesia Tahun 2005-2014)." *Jurnal Administrasi Bisnis (JAB)/Vol. Vol. 39*.  
www.kemendag.go.id.
- DJPB. 2014. "Udang Vaname Dan Udang Windu Masih Andalan Ekspor Indonesia • Pakan • DJPB - Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya." 2014.  
[http://www.djpb.kkp.go.id/arsip/c/246/Udang-Vannamei-dan-Udang-Windu-Masih-AndalanEkspor-Indonesia/?category\\_id=13](http://www.djpb.kkp.go.id/arsip/c/246/Udang-Vannamei-dan-Udang-Windu-Masih-AndalanEkspor-Indonesia/?category_id=13).
- Hankins, Mark. 2009. *STAND-ALONE SOLAR ELECTRIC*.
- Havells. n.d. "What Is The Difference Between MCB and MCCB? | Havells India Blog." Accessed November 7, 2018.  
<https://blog.havells.com/switchgear/what-is-the-difference-between-mcb-and-mccb/>.
- Holt, M. 2017. "Feasibility Studies on a Stand-Alone Hybrid Wind-Diesel System for Fish Farming Applications."  
<https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2459495>.
- Ibrahim, Adam Daniary, and Ridho Hantoro. n.d. "Simulasi Photovoltaic Dan Kincir Angin Motor Kapal Nelayan." *Digilib.ITS*, 1–7.
- Ingole, Ashish S, and Prof Bhushan S Rakhonde. 2015. "Hybrid Power Generation System Using Wind Energy and Solar Energy" 5 (3): 3–6.  
<https://doi.org/10.15680/IJIRSET.2015.0501007>.
- Jager, Klaus, Olindo Isabella, Arno H. M. Smets, Rene A. C. M. M. van Swaaij, and Miro Zeman. 2014. "Solar Energy Fundamentals, Technology and Systems." *Delft University of Technology*, 1–420.  
[https://doi.org/10.1007/SpringerReference\\_29746](https://doi.org/10.1007/SpringerReference_29746).
- Janaloka. 2018. "Potensi Energi Matahari Di Indonesia - Janaloka." Accessed June 4, 2018. <https://janaloka.com/potensi-energi-matahari-di-indonesia/>.

- Jaralika, SM, and M Aruna. 2011. "Case Study of a Hybrid (Wind and Solar) Power Plant." *Journal.Uad.Ac.Id.*  
<http://journal.uad.ac.id/index.php/TELKOMNIKA/article/view/641>.
- Kabir, Ehsanul, Pawan Kumar, Sandeep Kumar, Adedeji A. Adelodun, and Ki-Hyun Kim. 2018. "Solar Energy: Potential and Future Prospects." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82 (February): 894–900.  
<https://doi.org/10.1016/J.RSER.2017.09.094>.
- Kaldellis, John K., and D. Zafirakis. 2011. "The Wind Energy (r)Evolution: A Short Review of a Long History." *Renewable Energy* 36 (7): 1887–1901.  
<https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2011.01.002>.
- Karthick, R, and S Manoharan. 2016. "GRID INTERCONNECTION OF HYBRID POWER SYSTEM WITH POWER QUALITY IMPROVEMENT FEATURES." *International Journal of Advanced Engineering Technology*.
- Khan, I, H Chowdhury, R Rasjidin, F Alam, ... T Islam - Procedia, and undefined. 2012. n.d. "Review of Wind Energy Utilization in South Asia." *Elsevier*. Accessed June 4, 2018.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187770581204787X>.
- KKP. 2018. "PRODUKTIVITAS PERIKANAN INDONESIA." <https://kkp.go.id/wp-content/uploads/2018/01/KKP-Dirjen-PDSPKP-FMB-Kominfo-19-Januari-2018.pdf>.
- Lakatos, L., G. Hevessy, and J. Kovács. 2011a. "Advantages and Disadvantages of Solar Energy and Wind-Power Utilization." *World Futures: Journal of General Evolution* 67 (6): 395–408.  
<https://doi.org/10.1080/02604020903021776>.
- Liu, Li-Qun, Zhi-Xin Wang, Hua-Qiang Zhang, and Ying-Cheng Xue. n.d. "Solar Energy Development in China-A Review." Accessed November 7, 2018.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.08.005>.
- Maysha, and B Trisno. n.d. "Pemanfaatan Tenaga Surya Menggunakan Rancangan Panel Surya Berbasis Transistor 2N3055 Dan Thermoelectric

- Cooler.” *Ejournal.Upi.Edu*. Accessed June 4, 2018.  
<http://ejournal.upi.edu/index.php/electrans/article/view/1840>.
- Mbedded. n.d. “Zinc-Air Batteries | Mbedded.Ninja.” Accessed November 10, 2018. <http://blog.mbedded.ninja/electronics/components/batteries/zinc-air-batteries>.
- Patel, MR. 2005. *Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis, and Operation*. CRC Press.  
<https://www.google.com/books?hl=id&lr=&id=CfbLBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=mukund+r+patel&ots=V1vWjma7Tr&sig=hnbWd-XjuJm83qBYDFCVAUkzHO8>.
- Royle, Antony. n.d. “Is a 200W Power Inverter a Pure Sine Wave Inverter? - Quora.” Accessed November 10, 2018. <https://www.quora.com/Is-a-200W-power-inverter-a-pure-sine-wave-inverter>.
- Schneider. n.d. “Residual Current Circuit Breaker - ID-RCCB | Schneider Electric.” Accessed November 7, 2018. <https://www.schneider-electric.com/en/product-range/906-id-rccb/>.
- Setiyanto, Adi. 2016. “Analisis Posisi Pasar Dan Prospek Pemasaran Ekspor Udang Indonesia Di Amerika Serikat (AS).” *Jurnal Agro Ekonomi* 18 (1): 37–55. <https://doi.org/10.21082/JAE.V18N1.1999.37-55>.
- Suhinar. 2015. “Cara Memahami Segitiga Daya - Listrik-Praktis.” 2015.  
<https://www.listrik-praktis.com/2015/09/memahami-dengan-mudah-konsep-segitiga-daya.html>.
- Woodford, Chris. 2016. “How Do Solar Cells Work? - Explain That Stuff.” 2016.  
<https://www.explainthatstuff.com/solarcells.html>.



## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Data Lama Penyinaran Bulanan (Persen)

Data lamanya penyinaran bulanan (persen) kabupaten Lombok Utara

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
2010	57	71	66	48	48	73	74	81	63	72	67	36
2011	43	47	57	54	71	84	86	87	87	82	75	60
2012	37	66	39	80	74	83	76	88	84	80	63	50
2013	55	55	66	61	66	60	80	83	89	77	57	40
2014	51	62	68	68	86	86	69	83	89	91	75	49
2015	66	66	64	59	85	90	85	83	87	91	77	65
2016	66	54	71	73	76	75	74	82	75	68	63	45
2017	56	60	57	77	81	77	70	80	81	80	42	42
2018	43	79	75	82	87	84	87	78	x	x	x	x

Keterangan :

\*x : tidak terukur

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

Lampiran 2. Data kecepatan angin

Data kecepatan angin di lokasi objek penelitian (m/s)

No.	Tanggal	06.00-10.00	10.00-15.00	15.00-06.00
1	14/09/2018	5,1	5,1	2,4
2	15/09/2018	6,3	4,3	0,5
3	16/09/2018	4,1	4,0	0,3
4	17/09/2018	4,4	3,7	1,6
5	18/09/2018	3,1	3,8	0,3
6	19/09/2018	5,0	5,3	0,6
7	20/09/2018	3,0	6,5	2,7
8	21/09/2018	3,7	4,9	2,5
9	22/09/2018	4,1	4,7	1,7
10	23/09/2018	4,2	4,6	1,5
11	24/09/2018	4,3	3,9	1,0
12	25/09/2018	5,2	3,7	2,1
13	26/09/2018	2,3	5,0	2,4
14	27/09/2018	4,4	3,7	1,2
15	28/09/2018	4,6	5,5	0,1
16	29/09/2018	4,7	4,6	0,3
17	30/09/2018	4,5	4,3	1,3
18	01/10/2018	3,6	5,0	1,3
19	02/10/2018	3,8	5,2	0,7
20	03/10/2018	2,6	6,9	2,1
21	04/10/2018	4,8	7,6	1,5
22	05/10/2018	4,7	3,7	1,7
23	06/10/2018	3,7	5,8	1,9
24	07/10/2018	5,3	3,5	1,7
25	08/10/2018	4,7	5,2	1,6
26	09/10/2018	6,4	4,2	1,1

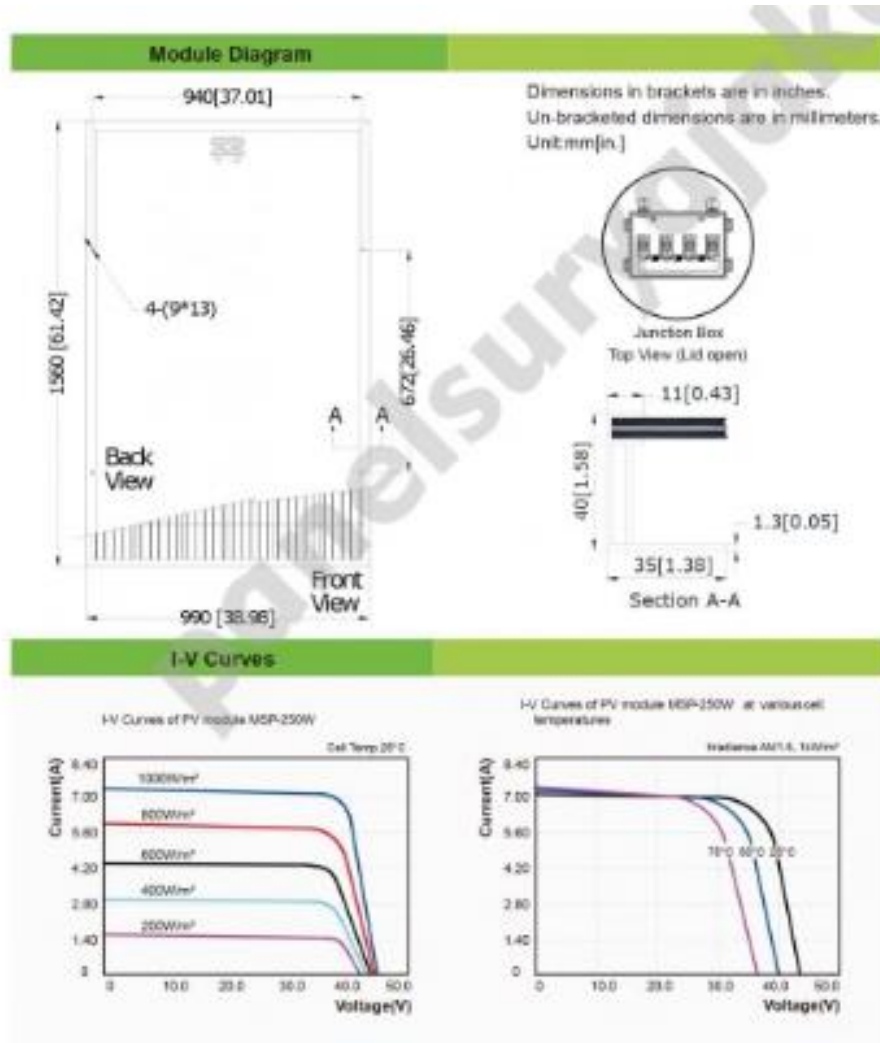
27	10/10/2018	4,3	3,3	1,6
28	11/10/2018	3,7	4,2	1,5
29	12/10/2018	6,0	6,9	1,6
30	13/10/2018	5,0	5,2	2,3
31	14/10/2018	5,1	6,3	3,2
32	15/10/2018	4,5	5,1	1,9
33	16/10/2018	4,4	3,3	2,4
34	17/10/2018	4,5	4,5	1,3
35	18/10/2018	4,0	5,5	2,4
36	19/10/2018	4,7	5,6	1,0
37	20/10/2018	3,8	4,2	2,5
38	21/10/2018	4,9	3,5	2,1
39	22/10/2018	5,1	4,7	1,3
40	23/10/2018	4,6	3,6	3,2
41	24/10/2018	4,2	5,0	4,0
42	25/10/2018	3,7	3,9	2,3
43	26/10/2018	5,2	4,9	4,1
44	27/10/2018	3,3	3,5	3,5
45	28/10/2018	5,6	4,5	2,7
46	29/10/2018	5,2	4,8	4,1
47	30/10/2018	5,5	5,1	4,2
48	31/10/2018	5,0	6,6	3,0
49	01/11/2018	5,0	3,6	2,0
50	02/11/2018	5,0	3,4	2,5
51	03/11/2018	4,3	2,5	2,4
52	04/11/2018	5,0	2,7	1,5
53	05/11/2018	4,5	5,2	1,1
54	06/11/2018	4,4	4,7	0,5
55	07/11/2018	3,3	4,3	2,0

56	08/11/2018	3,8	4,7	1,1
57	09/11/2018	5,2	6,7	1,4
58	10/11/2018	5,0	4,1	1,6
59	11/11/2018	3,8	6,3	3,0
60	12/11/2018	4,2	5,0	0,4
61	13/11/2018	4,8	3,8	0,3
62	14/11/2018	3,9	4,5	2,4
63	15/11/2018	4,0	4,8	1,9
64	16/11/2018	4,3	3,3	2,3
65	17/11/2018	4,5	5,4	0,9
66	18/11/2018	5,3	5,3	2,9
67	19/11/2018	4,3	4,6	2,0
68	20/11/2018	3,4	3,5	1,7
69	21/11/2018	4,0	5,0	1,1
70	22/11/2018	3,8	4,6	2,9
71	23/11/2018	5,1	4,9	1,3
72	24/11/2018	4,2	5,3	1,0
73	25/11/2018	3,1	2,8	1,9
74	26/11/2018	5,8	5,1	1,3
75	27/11/2018	3,9	5,7	3,1
76	28/11/2018	3,7	3,5	0,7
77	29/11/2018	3,9	7,2	1,2
78	30/11/2018	4,7	3,4	2,5
79	01/12/2018	3,6	5,3	0,4
80	02/12/2018	5,1	3,2	0,7
81	03/12/2018	5,6	3,5	0,5
82	04/12/2018	4,5	4,6	2,2
83	05/12/2018	4,0	3,5	2,2
84	06/12/2018	5,7	6,0	1,6

85	07/12/2018	4,8	3,2	0,6
86	08/12/2018	4,2	4,2	1,7
87	09/12/2018	3,2	6,2	0,7
88	10/12/2018	5,0	5,6	0,7
89	11/12/2018	3,8	5,1	1,3
90	12/12/2018	5,3	5,0	0,6
91	13/12/2018	2,8	6,3	3,2
92	14/12/2018	4,1	3,7	0,5
93	15/12/2018	4,2	5,1	0,7
94	16/12/2018	3,4	3,5	1,2
95	17/12/2018	3,6	3,8	0,4
96	18/12/2018	4,1	4,3	2,1
97	19/12/2018	3,6	4,8	1,8
98	20/12/2018	4,7	3,8	1,6
99	21/12/2018	4,6	3,2	1,8
100	22/12/2018	4,1	3,2	2,5
101	23/12/2018	4,4	4,0	2,3
102	24/12/2018	4,1	5,5	0,7
103	25/12/2018	4,0	5,7	1,9
104	26/12/2018	5,3	2,4	2,1
105	27/12/2018	3,5	5,6	1,2
106	28/12/2018	5,6	5,5	1,0
107	29/12/2018	3,8	6,6	2,2
108	30/12/2018	4,6	2,9	2,0

### Lampiran 3 Spesifikasi panel surya

Spesifikasi	Keterangan
Max. Power (Pmax)	250W
Max. Power Voltage (Vmp)	31.2V
Max. Power Current (Imp)	8.02A
Open Circuit Voltage (Voc)	37.9V
Short Circuit Current (Isc)	8.56A
Nominal Operating Cell Temp (NOCT)	45±2°C
Max. System Voltage	1000V
Max. Series Fuse	16A
Weight	19Kg
Dimension	1650 x 992 x 40 mm

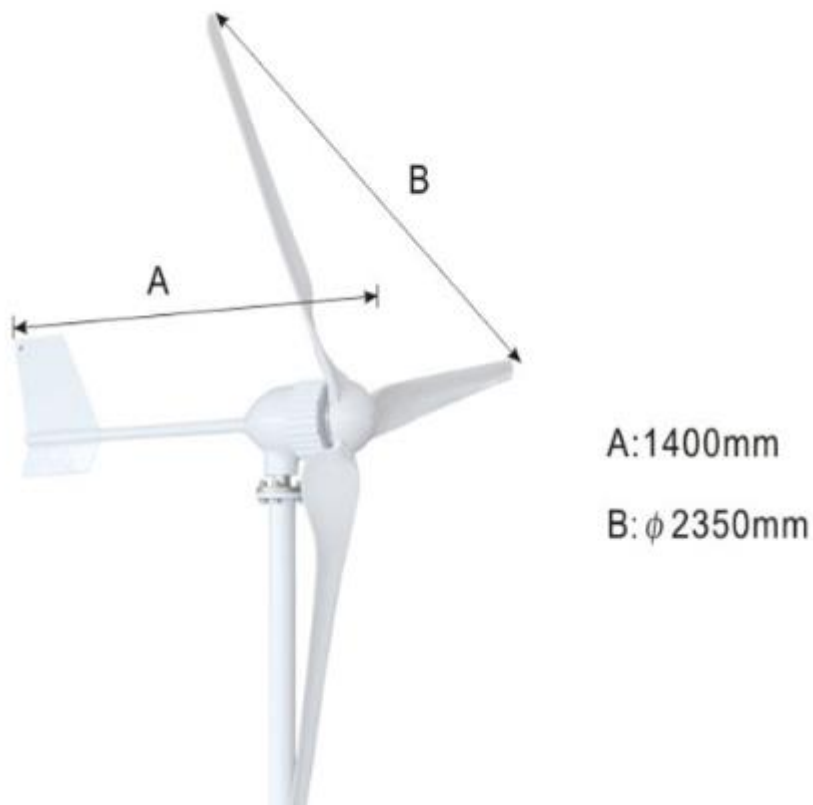


*Halaman ini sengaja dikosongkan*



#### Lampiran 4 Spesifikasi Turbin angin

Nilai daya	1000 w
MAX Power	1050 W
Nilai tegangan	24 V/48 V
Start-up kecepatan angin	2.0 m/s
Nilai kecepatan angin	12.5 m/s
Kelangsungan hidup kecepatan angin	40 M/s
Top berat bersih	30 kg
Diameter roda	2.5 m
Jumlah pisau	3
Bahan pisau	Serat diperkuat kaca
Generator	Tiga fase AC generator sinkron magnet permanen
Sistem kontrol	Elektronik magnet dan secara otomatis menyesuaikan Windward Sudut
Suhu kerja	-40 °C-80 °C



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## Lampiran 5 Spesifikasi inverter panel PV

Rated Power : 7000 W

Mode : Double MPPT

### INPUT :

- Max. DC Input Power : 7500 W
- Max. DC Input Voltage : 600VDC
- MPPT Tracking Voltage Range : 150V ~ 550VDC
- Number of MPPT Tracking : 2
- Strings Of MPPT Tracking : 2
- Max. Input Current : 15A x 2 (for each tracking)

### OUTPUT :

- Rated Output Power : 7000 W
- Max. AC Output Power : 7100 W
- Rated Output Voltage : 230 VAC
- Output Voltage Range : 230VAC 20%
- Grid Frequency Range : 50/60Hz (5%), adjustable
- Rated Output Current : 21.7A
- Max. Output Current : 24A
- Power Factor (cos  $\phi$ ) : 0.9 leading - 0.9 lagging
- THD : <2%

### SYSTEM FEATURES :

- Max. Efficiency : >97.6%
- EURO Efficiency : >96.8%
- MPPT Efficiency : >99.9 %
- Standby (Night Time) Losses : <0.2W
- Communication Interface : RS232/RS485 standard, external WiFi or Ethernet (optional)
- DC Switch : Optional



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## Lampiran 6 spesifikasi inverter turbin angin

### GROWATT 1500W ON-GRID INVERTER

#### Leading-edge Technology :

- Maximum efficiency of 97,6% and wide input voltage range
- Internal DC Switch
- Transformerless GT Topology
- Compact Design
- Ethernet / RF Technology / Wi-Fi
- Sound Control
- Easy Installation
- Comprehensive Growatt warranty Program

#### Specifications : Growatt-1500S

##### Input Data (DC)

- Max recommended PV Power (For Module STC) : 2600W
- Max DC Voltage : 450V
- Start Voltage : 80V
- PV Voltage Range : 70V-450V
- MPP work Voltage range/nominal voltage : 70V-450V/360V
- Full Load Dc voltage range : 200V-400V
- Max Input Current : 11A
- Max Input Current Per String : 11A
- Number of Independent MPP trackers/Strings per MPP tracker : 1/1

##### Output (AC)

- Rated AC Output Power : 1500W
- Max AC Power : 2000W
- Max Output Current : 9.5A
- AC nominal voltage;range : 220,230, 240V ; 180Vao-280Vac
- AC grid frequency;range : 50.60Hz → + 5Hz
- Power Factor : 1
- Displacement Power Factor : 0.8 Leading
- Configurable : 0.8 Lagging
- THDi : <3%
- AC Connection : Single Phase

##### Efficiency

- Max efficiency : 97.4%
- Euro Weighted efficiency : 97 %
- MPPT efficiency : 99.5%



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## Lampiran 7 Spesifikasi Programmable/smart relay



SR3B261BD

### Tipe Modular dengan Display

Tegangan Suplai	I/O	Input Diskrit	Input Analog 0-10V	Output Relay	Output Transistor	Clock	Referensi
24 V DC	10	6	4	4	0	ya	SR3B101BD
		6	4	0	4	ya	SR3B102BD
	26	16	6	10 <sup>(1)</sup>	0	ya	SR3B261BD
		16	6	0	10	ya	SR3B262BD
24 V AC	10	6	0	4	0	ya	SR3B101B
	26	16	0	10 <sup>(1)</sup>	0	ya	SR3B261B
100-240 V AC	10	6	0	4	0	ya	SR3B101FU
	26	16	0	10 <sup>(1)</sup>	0	ya	SR3B261FU

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Desa Pulukan, Kecamatan Pekutatan, Kabupaten Jembrana, Bali pada tanggal 05 mei 1984 dan merupakan anak pertama dari lima bersaudara dari pasangan alm. Suherlan dan Siti Kastini. Setelah menyelesaikan pendidikan di SMKN 3 Mataram dengan Program Studi Listrik Instalasi pada tahun 2001, penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Tinggi Perikanan (STP) Jakarta dengan Program Studi Permesinan Perikanan dan menyelesaikan pendidikan pada tahun 2004. Setelah menyelesaikan pendidikan Diploma-IV tersebut penulis bekerja sebagai teknisi mesin pada Balai Budidaya Laut (BBL) Lombok. Pada tahun 2008 penulis diterima sebagai Pegawai Negeri Sipil (PNS) pada Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia dengan jabatan fungsional Guru pada Unit Pelaksana Teknis (UPT) Sekolah Usaha Perikanan Menengah (SUPM) Negeri Pariaman, Sumatera Barat.

Pada tahun 2018 penulis diberi kesempatan oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan RI untuk melaksanakan tugas belajar di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada Fakultas Teknologi Kelautan di Departemen Teknik Sistem Perkapalan.

Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT atas terselesaikannya tesis yang berjudul ” **Perancangan Sistem Hibrid Panel PV Dan Turbin Angin Interkoneksi Dengan *Grid* Untuk Memenuhi Kebutuhan Listrik Pada Budidaya Udang Vannamei Di Kecamatan Bayan Kabupaten Lombok Utara NTB**”. Masukan dan saran dapat disampaikan melalui email : [birham55@gmail.com](mailto:birham55@gmail.com)